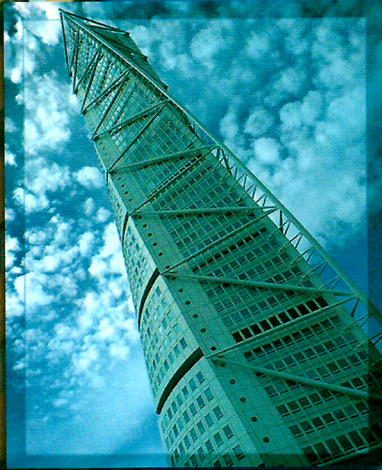


# أساسيات تكنولوجيا الخرسانة

الأستاذ الدكتور

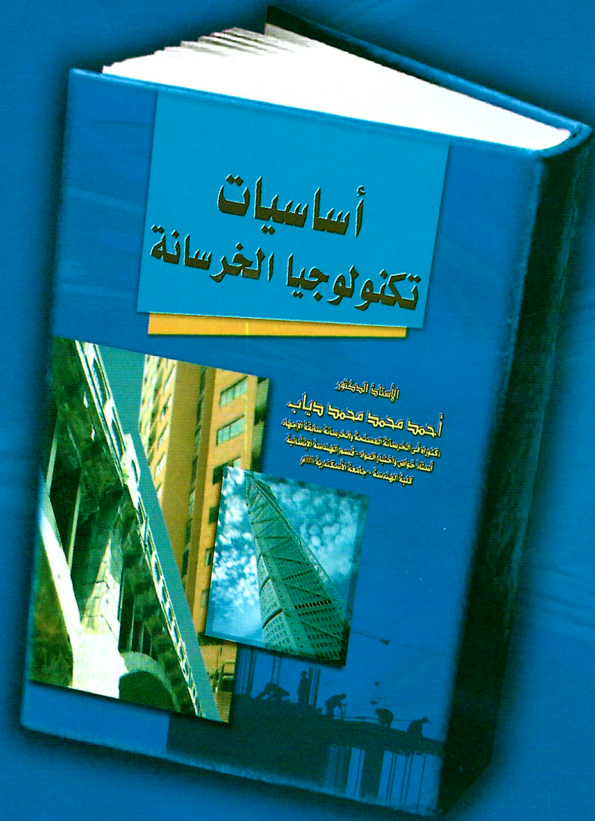
أحمد محمد دياب

دكتوراه في الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد  
أساتذة خواص واختبار المواد - قسم الهندسة الإنشائية  
كلية الهندسة - جامعة الإسكندرية



أساسيات تكنولوجيا الخرسانة

أ.د. أحمد محمد دياب



SCANED BY  
ENG.OSAMA TAREK



## الباب الثانى الأسمنت (Cement)

### 1-2 مقدمة ونظرة تاريخية:

الأسمنت هو المادة اللاصقة الهيدروليكية الناتجة عن حرق (تكليس) الأحجار الجيرية والطين بنسب معينة بعد طحنها مع وجود مواد أخرى مثل الألومينا والحديد , وبعد الحرق يتم طحنه بعد إضافة الجبس والأسمنت عند إضافة الماء إليه يتحول إلى مادة لدنة سهلة التشغيل والتشكيل , وبعد فترة زمنية تبدأ في فقد لدونتها ويقال أنها شكت شكتاً ابتدائياً , وبعد فترة أخرى تتصلب العجينة الأسمنتية التي فقدت لدونتها وتستطيع تحمل إجهاد صغير جداً , ويقال أنها شكت شكتاً نهائياً , ومع زيادة عمر الخرسانة تكتسب العجينة مقاومة ضغط جيدة .  
ويستخدم الأسمنت في إنتاج الخرسانة العادية والخرسانة المسلحة وفي أعمال بناء الحوائط وفى إنتاج طوب البناء الأسمنتى وأعمال البياض ..... إلخ.

قام الإنسان فى الأزمنة القديمة باستخدام الطين كمادة لاصقة عند تصلبها , ثم استخدم المصريون القدماء مادة الجير والجبس كمادة لاصقة . واستخدم الرومانيون خليطاً من الجير والمواد البوزولانية كمادة لاصقة . وفى سنة 1756 بدأ سميتون فى الدراسة لإنتاج أسمنت هيدروليكي ناتج من حرق الحجر الجيري الصلد الغير نقى والذي يحتوى على مواد طينية . وفى بداية القرن التاسع عشر قام العديد من الباحثين بإنتاج أسمنت ناتج من حرق الحجر الجيري والطين مثل الفرنسي فيكات , وبعد ذلك تمكن الإنسان من إنتاج الأسمنت الطبيعي الناتج من أحجار الأسمنت الطبيعي . ثم قام جوزيف الإنجليزي فى إنتاج الأسمنت البورتلاندى الناتج من حرق الأحجار الجيرية والمواد الطينية بعد طحنهما وخلطهما وتنعيمهما . ثم تلى بعد ذلك العديد من الأبحاث التى عملت على تحسين خواص الأسمنت , وتم صناعة القرن الدوار الذى يُستخدم حتى اليوم .

وفى سنة 1900 أنشأ أول مصنع أسمنت فى منطقة المعصرة . وفى سنة 1911 أنشأ أول مصنع صغير فى الإسكندرية لإنتاج الأسمنت الطبيعي ثم توقف . وفى سنة 1927 تأسست شركة أسمنت طره ثم أنشأت شركة أسمنت حلوان فى سنة 1929 . وفى عام 1948 تأسست شركة الإسكندرية لأسمنت بورتلاند بالمكس . وفى سنة 1956 تأسست الشركة القومية لإنتاج الأسمنت بالتبطين . وتوالى إنشاء مصانع الأسمنت فى مناطق متعددة فى مصر . وفى نهاية القرن العشرين وبداية القرن الواحد والعشرين تم بيع العديد من الشركات للشركات الأجنبية فى إطار سياسة الخصخصة التى انتهجتها الحكومات المصرية فى تلك الفترة .

### 2-2 خامات الأسمنت البورتلاندى (Materials of Portland Cement):

#### 1-2-2 الحجر الجيري (Lime Stone):

وهو الخامة الرئيسية فى إنتاج الأسمنت . وهذه الأحجار يجب أن تكون غنية بكاربونات الكالسيوم (90-98%) وبها نسبة سليكا تصل إلى 5.5% . ولا يمكن استخدام أحجار بها نسبة عالية من أكسيد الماغنسيوم أو أملاح الكلوريدات والكبريتات . ولا يمكن استخدام أحجار الدولوميت , كما أنه يمكن استخدام الأحجار الطباشيرية .



وسنلتناول في مايلي خطوات مختصرة عن صناعة الأسمنت:

1. التحجير:

حيث يتم تكسير الأحجار في المحجر ونقلها للمصنع حيث تكسر لقطع صغيرة.

2. طحن وتنعيم المادة الخام مفردة:

حيث يتم التكسير والطحن والتنعيم في طواحين ميكانيكية تحتوى على كرات من الصلب للوصول للتنعيم المطلوب.

3. طحن وتنعيم المواد مجتمعة معاً:

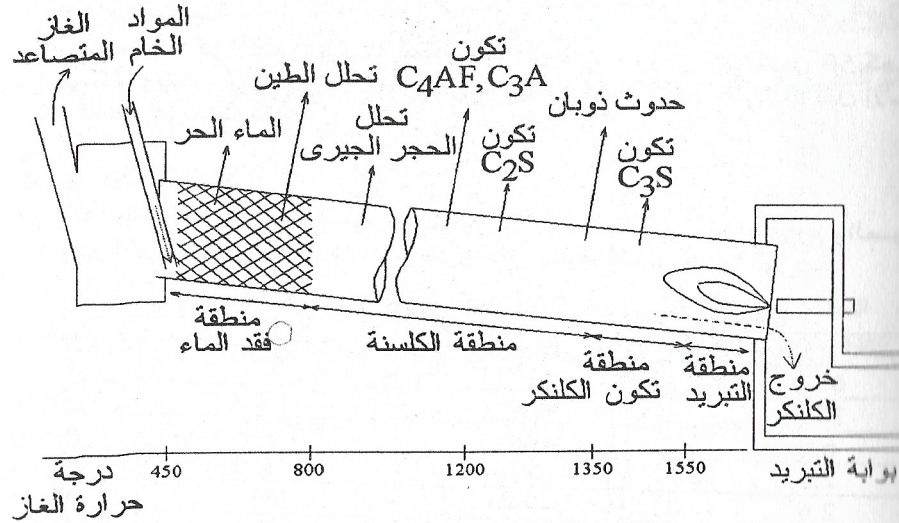
حيث يتم إدخال المواد الخام بالنسب المناسبة وخطهم وتنعيمهم معاً.

4. تسخين المواد الخام:

يتم تسخين المادة الخام المخلوطة للتخلص من أى رطوبة سطحية.

5. عملية الحرق:

تتم عملية الحرق داخل الفرن الدوار، وهو فرن من الصلب المبطن بالطوب الحرارى وقطره حوالى 6 متر وطوله قد يصل إلى 180 متر، وهو مائل ويدور بسرعة قياسية، وتدخل الخامات من الجهة العلوية للفرن وتخرج من الجهة الأخرى (المنخفضة). وتترايد درجة حرارة الفرن من 50 درجة مئوية عند المدخل وتصل لـ 1450 درجة مئوية عند نهاية منطقة الحرق. أما درجة حرارة غاز التسخين فتتراوح بين 450 درجة مئوية عند المدخل وتصل إلى 1550 درجة مئوية عند نهاية منطقة الحرق، انظر شكل (2-2).



شكل (2-2) قطاع يوضح مناطق الحرق بالفرن الدوار

ويمكن تلخيص ما يحدث داخل الفرن كما يلي:

أ- منطقة طرد الماء الحر (Evaporation):

في بداية الفرن حيث يتم إدخال الخامات تكون درجة الحرارة أكبر من درجة الغليان، فيبدأ الماء الحر الموجود في الخامات في الصعود على هيئة بخار ماء.

ب- منطقة الكلسنة (Calcinations):

ترتفع درجة الحرارة في منطقة الكلسنة ويبدأ الطين في التحلل لأكاسيده، ثم يتبعه تحلل كربونات الكالسيوم (حجر جيرى) حيث يفقد ماء اتحاده وتبقى أكسيد

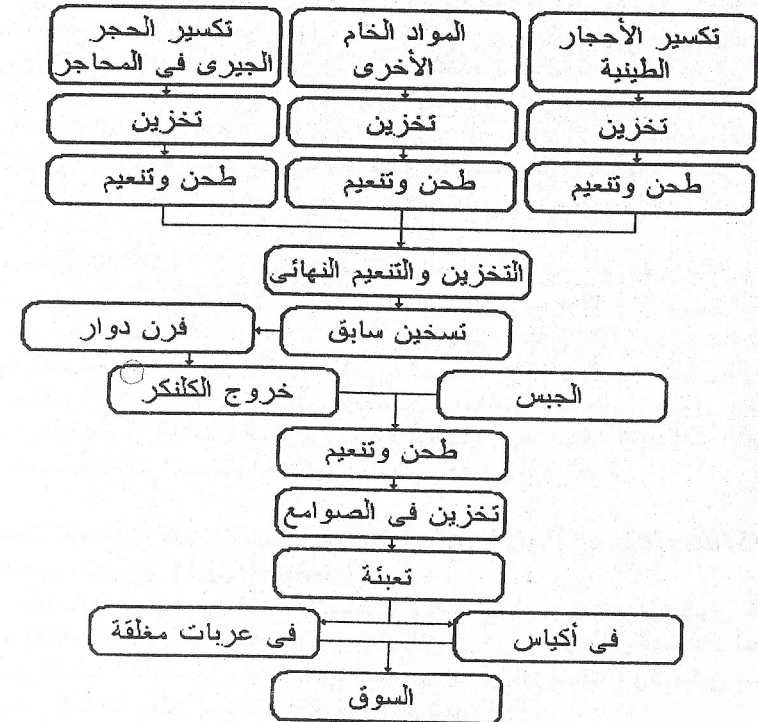
## 2-2-2 الطين أو الطمي (Clay or Silt):

وهو المصدر الرئيسى لأكسيد السليكون والألومينا فى الأسمنت بالإضافة لما يحتويه من أكسيد الكالسيوم.

وعموماً فإن نسب استخدام الأحجار والمواد الطينية يجب أن تحقق محتوى كربونات الكالسيوم متوسط فى حدود 76 %، بينما يمثل الطين نسبة بين 24.5 و 32.5 %. وبالإضافة لأهمية وجود أكسيدات الحديد والألومينا على خواص الأسمنت فإنهما يساعدان فى تخفيض درجة انصهار الجير والطين.

## 3-2 صناعة الأسمنت (Cement Industry):

توجد طريقتين لتصنيع الأسمنت؛ الطريقة الأولى هى الطريقة الجافة وفيها يتم خلط وتنعيم مكونات الأسمنت بحالتها الطبيعية، أما الطريقة الثانية فيتم خلط المواد بعد إضافة الماء إليها ثم يتم طحنها فى وجود الماء. وهذه الطريقة الأخيرة لم تعد تستخدم لاستهلاكها الماء العذب واستهلاكها للطاقة اللازمة للتجفيف وزيادة التلوث. وشكل (1-2) يبين رسم تخطيطى للصناعة.



شكل (1-2) شكل تخطيطى لصناعة الأسمنت



وهذه المركبات ونسبها المختلفة هي التي تحدد نوع وخواص الأسمنت، وسوف يتم التعرف على ذلك لاحقاً. وجدول (2-2) يعطى مثلاً للنسب الوزنية للمركبات المختلفة داخل الأسمنت المعبأ أو السائب، ويعطى بالجدول الصيغة الكيميائية (Chemical Formula) والصيغة الكيميائية المختصرة التي تساعد المهندسين المدنيين والمعماريين على تفهم الموضوع بسهولة. والمركبات الرئيسية يمكن حسابها بعد تحليل الأسمنت كيميائياً، ثم يتم التطبيق في معادلة Bogue والتي يمكن اختصارها في مايلي:

• الحالة الأولى:

عندما تكون نسبة الألومينا إلى الحديد  $0.64 \leq$

$$A / F \geq 0.64$$

(1-2) .....

جدول (2-2) مثال بنسب تكوين المركبات الأربعة في الأسمنت البورتلاندى العادى (\*1) ومنخفض الحرارة (\*2) وسريع التصلد (\*3)

% للمحتوى بالوزن لأنواع مختلفة من الأسمنت			الصيغة المختصرة	الصيغة الكيميائية
* 3	* 2	* 1		
73	33	65	C <sub>3</sub> S	3CaO.SiO <sub>2</sub>
2	48	8	C <sub>2</sub> S	2CaO.SiO <sub>2</sub>
7	5	14	C <sub>3</sub> A	3CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
14	10	9	C <sub>4</sub> AF	4Ca.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

يتم التطبيق في المعادلات من 2-2 الى 5-2 بمحتويات الأكاسيد للحصول على المركبات

$$C_3S = 4.071C - 7.600S - 6.718A - 1.430F - 2.852\bar{S} \quad (2-2) \dots\dots\dots$$

$$C_2S = 2.867S - 0.7544C_3S \quad (3-2) \dots\dots\dots$$

$$C_3A = 2.650A - 1.692F \quad (4-2) \dots\dots\dots$$

$$C_4AF = 3.043F \quad (5-2) \dots\dots\dots$$

• الحالة الثانية:

عندما تكون نسبة الألومينا إلى الحديد  $0.64 >$  نطبق في المعادلات التالية :

$$A / F < 0.64 \quad (6-2) \dots\dots\dots$$

$$C_3S = 4.071C - 7.6S - 4.479A - 2.859F - 2.852\bar{S}' \quad (7-2) \dots\dots\dots$$

$$C_2S = 2.867S - 0.7544C_3S \quad (8-2) \dots\dots\dots$$

$$C_3A = 0.0 \quad (9-2) \dots\dots\dots$$

$$C_4AF = 2.100A + 1.702F \quad (10-2) \dots\dots\dots$$

6-2 إمامة الأسمنت وتأثير مركبات الأسمنت على خواص الأسمنت:

**Cement Hydration & Effect of Cement Compounds on Cement Properties:**

عند إضافة ماء الخلط للأسمنت تبدأ المركبات في الاتحاد مع الماء. ولتسهيل تتبع عمليات التفاعل سنفترض أن كل مركب سيتحد مع الماء على حده وهو فرض مشكوك في صحته.

الكربون. تبدأ الأكاسيد في الاتحاد مع بعضها لتكون المركبات الأولية للأسمنت (ألومينات حديد رباعي الكالسيوم وألومينات ثلاثي الكالسيوم) ، وهذه المواد تساعد على تكوين المركبات الرئيسية للأسمنت عند نهاية منطقة الكلسنة ، وخاصة تكون سليكات ثلاثي الكالسيوم . ويمكن وصف تكون المركبات الأربعة الرئيسية للأسمنت كما يلي :

- يتحد كل أكسيد الحديد الموجود مع نسبة من الألومينا ونسبة من أكسيد الكالسيوم لتكون ألومينات حديد رباعي الكالسيوم . ثم يتحد ما تبقى من أكسيد الألومينا مع جزء من أكسيد الكالسيوم ، ويتكون ألومينات ثلاثي الكالسيوم . يتحد أكسيد السليكون مع جزء من أكسيد الكالسيوم لينتج سليكات ثنائي الكالسيوم ، ونتيجة لارتفاع درجة الحرارة وحدث ذوبان (Formation of Melt) يتحد جزء من سليكات ثنائي الكالسيوم مع جزء من أكسيد الكالسيوم لتكوين سليكات ثلاثي الكالسيوم . ويتبقى جزء صغير من أكسيد الكالسيوم وأكسيد الماغنسيوم حر بدون اتحاد . ويسمى الأسمنت في تلك الحالة بالكلنكر .

ج- التبريد (Cooling):

في نهاية الفرن يتم تبريد الكلنكر، وهو ذو لون رمادي وحبيباته تكون مثل الركام. 6. خلط الكلنكر بالجبس والطحن والتنعيم :

يتم إضافة الجبس بنسبة قياسية (حوالي 3.5% من وزن الأسمنت) إلى الكلنكر. ويتم طحنهما وتنعيمهما بحيث نحقق المساحة السطحية المطلوبة للأسمنت.

7. التخزين والتعبئة:

يعبأ الأسمنت في أكياس قياسية لتحميه من الرطوبة، ووزن كل كيس 50 كجم في المتوسط. ويمكن أن يخزن الأسمنت في صوامع محكمة الغلق حتى يتم نقل الأسمنت للموقع في عربات مغلقة.

4-2 أكاسيد الأسمنت:

يتكون الأسمنت من أكاسيد الكالسيوم والسليكون والألومينا والحديد والماغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكبريت وجدول رقم (1-2) يحتوى على تلك الأكاسيد ونسبها الوزنية.

جدول (1-2) مثال تحليل كيميائي لأكاسيد الأسمنت البورتلاندى العادى

الأكاسيد	الصورة المختصرة	الاسم الشائع	النسبة الوزنية المئوية
CaO	C	الجير	63.0
SiO <sub>2</sub>	S	السليكا	22.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	A	ألومينا	6.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	أكسيد الحديد	2.5
MgO	M	المغنيسيا	2.6
K <sub>2</sub> O	K	القلويات	0.6
Na <sub>2</sub> O	K	القلويات	0.3
SO <sub>3</sub>	S <sup>-</sup>	ثالث أكسيد الكبريت	2.0

5-2 مركبات الأسمنت:

كما سبق ذكره فإن الأسمنت يتكون من خمسة مركبات بعد صناعته وهي:

(1) سليكات ثلاثي الكالسيوم = C<sub>3</sub>S.

(2) سليكات ثنائي الكالسيوم = C<sub>2</sub>S.

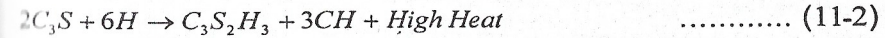
(3) ألومينات ثلاثي الكالسيوم = C<sub>3</sub>A.

(4) ألومينات حديد رباعي الكالسيوم = C<sub>4</sub>AF.

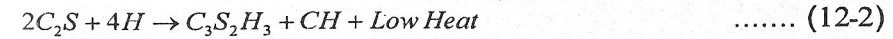
(5) الجبس = CSH<sub>2</sub>.



## 1-6-2 إماهة سليكات الكالسيوم:



سليكات ثلاثي الكالسيوم + 6 جزيئات ماء ← سليكات الكالسيوم المماهة (جل الأسمنت) + 3 جزيئات هيدروكسيد الكالسيوم (الجير) + حرارة مرتفعة



سليكات ثنائي الكالسيوم + 4 جزيئات ماء ← سليكات الكالسيوم المماهة (جل الأسمنت) + هيدروكسيد كالسيوم + حرارة ضعيفة

يلاحظ من المعادلتين السابقتين أن اتحاد سليكات الكالسيوم بنوعيه ينتج سليكات كالسيوم مماهاه (C-S-H). وهذه المادة في مراحلها الأولى تكون لدنة، وهي مادة جيلاينية مثل الغراء، وهي عند صب الخرسانة أو تناول المونة تساعد على حسن تشغيل الخرسانة أو المونة وبمرور الوقت تبدأ هذه المادة في التصلب وتتلاحم مع بعضها أو مع الرمل أو الركام، وبمرور الوقت تنتج مونة أو خرسانة متصلة قوية جداً. وهذه المادة (C-S-H) مادة ضعيفة التبلور ولكنها تتميز بالثبات الكيميائي حيث لا تهاجم إلا بملح كبريتات الماغنسيوم.

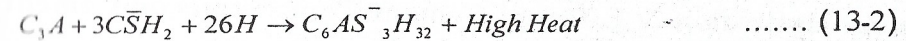
وهذه المادة هي المساهم الحقيقي في إكساب الخرسانة أو المونة الأسمنتية مقاومتها. ويلاحظ أن سليكات ثلاثي الكالسيوم تكون أسرع في التفاعل، وهي المسؤولة عن المقاومة المبكرة، والحرارة المنبعثة من إماهتها عالية لذلك يجب الاهتمام بالمعالجة برش الماء المبكر، ولذلك تزيد نسبة  $C_3S$  في الأسمنت سريع التصلد (انظر جدول 2-2). أما سليكات ثنائي الكالسيوم فتفاعله بطيء والحرارة المنبعثة منه ضعيفة، لذلك فهو يساعد في المقاومة المتأخرة للأسمنت، ولهذا السبب تزيد نسبته في الأسمنت منخفض الحرارة (انظر جدول 2-2).

من المعادلة (11-2)، (12-2) يتضح أن إماهة سليكات الكالسيوم ينتج عنها الجير (هيدروكسيد الكالسيوم CH)، وهو عبارة عن مادة جيدة التبلر وبلوراتها تكون كبيرة يمكن تمييزها بسهولة بالميكروسكوب العادي أو الضعيف، وبلورته عبارة عن منشور مثنى المقطع، ومن فضل الله الذي قدر اكتشاف الأسمنت عندما احتاجه الإنسان وجود مادة CH التي تحفظ للخرسانة وسط قلوي درجة قلويته (PH) تساوي 13، وهذا الوسط القلوي هو الذي يحفظ صلب التسليح بدون صدأ، ولا يحدث الصدأ إلا عندما تفقد الخرسانة قلويتها نتيجة تفاعل CH بمواد كيميائية خارجية مثل غاز ثاني أكسيد الكربون كما سيذكر بالتفصيل في باب التحميلة.

## 2-6-2 إماهة ألومينات ثلاثي الكالسيوم:

هذا المركب شربه للاتحاد مع الماء، وإذا لم يضاف الجبس للأسمنت فإن الأسمنت سوف يشك سريعاً. ولذلك فإن  $C_3A$  يتحد مع الجبس والماء، ويأخذ هذا التفاعل وقتاً يسمح بتشغيل مونة الأسمنت أو الخرسانة، ويتم هذا التفاعل كما يلي:

• أولاً: في حالة وجود كمية صغيرة من  $C_3A$ .

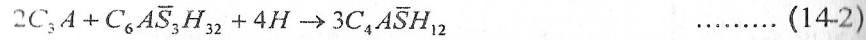


سليكات ثلاثي الكالسيوم + جبس + ماء → إترنجيت + حرارة عالية

ومادة الإترنجيت (كبريتات الكالسيوم الألومينية المماهة) هي مادة متبلرة على هيئة منشور مقطعه ثماني، ولكن نسبة طول المنشور للقطر كبيرة جداً إذا ما قورن ببلورات CH، ولذلك تظهر مثل الإبر. وهي بلورات ليست كبيرة بحيث يصعب مشاهدتها تحت الميكروسكوب العادي.

• ثانياً: في حالة وجود كمية كافية من  $C_3A$ .

يتحد الإترنجيت المتكون من الاتحاد السابق بالمعادلة السابقة مع جزء آخر من  $C_3A$  وينتج مركب السلفوألومينات.

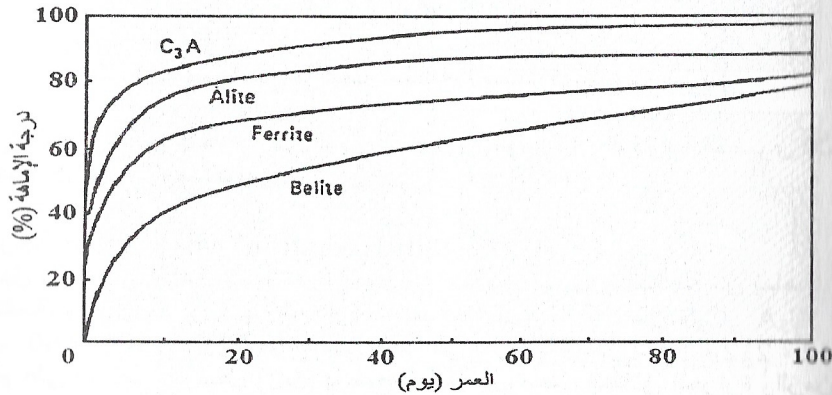


أما  $C_4AF$  فيتحد مع الجبس والماء ويعطى مركبات لا تؤثر كثيراً على خواص الأسمنت.

## 3-6-2 تأثير نواتج إماهة الأسمنت على معدلات التفاعل وعلى مقاومة الضغط:

### Effect of Cement Hydration Products on Rate of Hydration and Compressive Strength:

شكل (3-2) يوضح معدل إماهة مركبات الأسمنت البورتلاندي العادي، والذي يتضح منه أن الرمبات ثلاثي الكالسيوم هو أكثرهم إماهة مع الجبس والماء يليه Alite ( $C_3S$ ) يليه Ferrite ( $C_2S$ ) يليه Belite ( $C_4AF$ ).



شكل (3-2) معدل إماهة مركبات الأسمنت

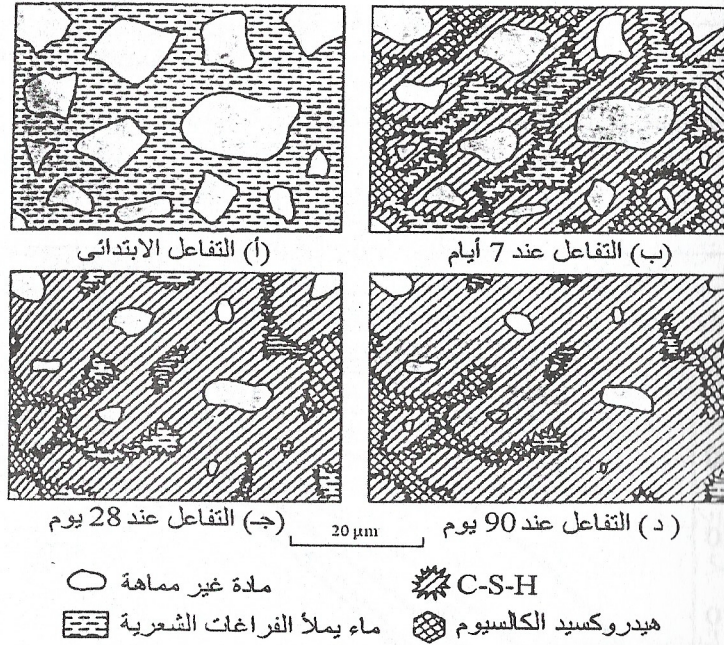
أما شكل (4-2) فيوضح مساهمة كل مركب في مقاومة الضغط، والذي يتضح منه أن  $C_3A$  هما المؤثران في المقاومة المبكرة للأسمنت (من ثلاثة إلى أربعة أسابيع).



بمعالجة الخرسانة والعمل على تخفيض درجة الحرارة في الأجواء الحارة ، بإضافة ثلج أو تخفيض درجة حرارة ماء الخلط بحيث تنخفض درجة الحرارة في المراحل المختلفة.

#### 5-6-3 ميكانيكا الإمهاء والتصلب (Hydration Mechanism and Hardening):

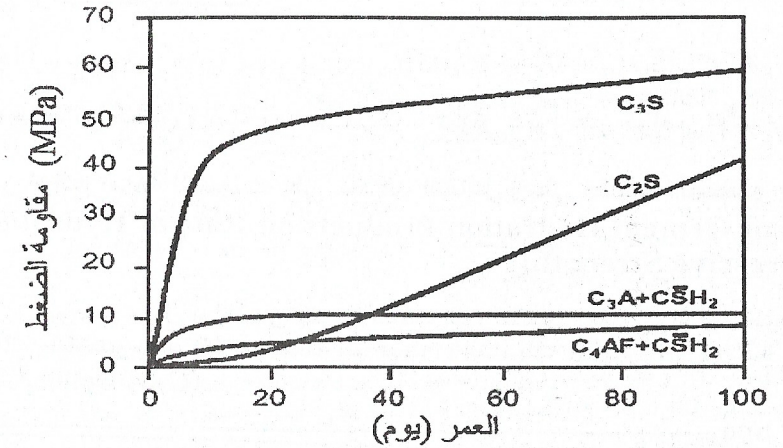
عند إضافة الماء للأسمنت يكون الأسمنت في حالة عدم إمهاء في وسط من ماء الخلط (انظر شكل 6-2)، ومع مرور الزمن يتكون الجل C-S-H وهيدروكسيد الكالسيوم والنواتج الأخرى ، ثم يحدث الشك والتصلب.



شكل (6-2) علاقة تخطيطية توضح تطور التركيب البنائي لإمهاء الأسمنت

إن الجل يكون حجمه أكبر من حجم الأسمنت الأصلي (انظر شكل 7-2)، حيث يزيد حجم الأسمنت من 31.8 مليلتر إلى 48.9 مليلتر، ويحدث ذلك في الأسطح الخارجية لحبيبات الأسمنت.

ومع مرور العمر تتفاعل أجزاء أخرى من الأسمنت ، وينتشر الجل الجديد مخترقاً المسارات الشعرية الموجودة في الجل المتصلد، وتملأ الفراغات الموجودة بين الركام. ومادام هناك قليل من الماء موجود في الخرسانة يستمر تكون الجل. وشكل (6-2) (ب) ثم (ج) ثم (د) يوضح أهمية زيادة C-S-H مع زيادة العمر. وأثبتت الأبحاث أن عملية تكون الجل تظل حتى عدة سنوات، انظر شكل (8-2) ، وبالتالي تتحسن مقاومة عجينة الأسمنت مع الزمن ما دامت العجينة محفوظة من أية مهاجمات خارجية.

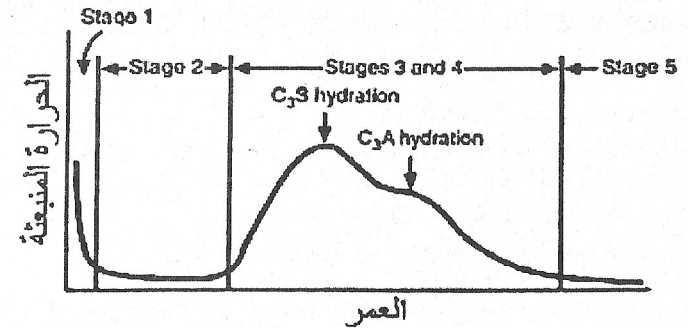


شكل (4-2) مساهمة المركبات المختلفة للأسمنت في مقاومة الضغط

أما  $C_2S$  فيؤثر على المقاومة في المدى البعيد. وعموماً فإن المقاومة القصوى للأسمنت يتشارك فيها  $C_3S$ ,  $C_2S$  مناصفة.

#### 4-6-2 درجة حرارة الإمهاء (Heat of Hydration):

مما سبق يتضح أن إمهاء الأسمنت ينتج حرارة. وتكون الحرارة الناتجة من إمهاء  $C_3A$ ,  $C_3S$  مرتفعة، ويمكن تقدير كمية الحرارة المنبعثة خلال سنة لكل من  $C_3S$ ,  $C_3A$ ,  $C_2S$ ,  $C_4AF$  بـ 660، 1340، 225، 490 جول/جم على الترتيب وتقدر بـ 58، 212، 12، 69 بعد 3 أيام على الترتيب. وشكل (5-2) يوضح العلاقة بين معدل انطلاق الحرارة والزمن المار من لحظة الخلط.



شكل (5-2) العلاقة بين معدل انطلاق الحرارة والزمن

ويلاحظ من الشكل السابق أن ارتفاع درجة الحرارة في المرحلة الأولى والثانية والتي تكون في الساعات الأولى (صفر - 4 ساعات) من الخلط لا ينتج عنها أية خطورة إنشائية. أما الحرارة في المرحلة الثالثة والرابعة والتي ترتفع فيها درجة الحرارة نتيجة إمهاء  $C_3A$ ,  $C_3S$  ويحدث خلالها الشك النهائي قد تؤدي إلى ظهور شروخ بالمونة أو الخرسانة. ولذلك يجب الاهتمام



بعد الحصول على كلنكر الأسمنت من الفرن الدوار يتم طحن الأسمنت مع الجبس لتنعيمه. ومن المهم معرفة أن نعومة الأسمنت لها دور كبير في التأثير على خواص عجينة الأسمنت ، فكلما زادت النعومة يقل قطر حبيبة الأسمنت وتزيد المساحة السطحية للأسمنت. وفي مايلي أوضح تأثير نعومة الأسمنت على خواصه:

- (1) زيادة النعومة تزيد من معدل الإماهة وتزيد الحاجة للجبس للتحكم في شك الأسمنت، فتزيد كمية الجل المتكون فتحسن المقاومة المبكرة.
- (2) زيادة النعومة تزيد من درجة الحرارة المنبعثة ، فيجب الاهتمام بمعالجة مونة الأسمنت والخرسانة.
- (3) يسهل إماهة الحبيبة الناعمة عن الحبيبات الخشنة.
- (4) الأسمنت الناعم يحتاج لماء خلط أكبر لذلك يزيد الانكماش.
- (5) زيادة النعومة تحسن من الثبات الحجمي للأسمنت (يقل التمدد الناتج عن الأكاسيد الثانوية).

والتعبير عن النعومة يتم قياس نسبة المواد الخشنة في الأسمنت، إما بالنخل على منخل رقم 170 (مواصفات مصرية 373-1991) ، أو بالنخل على منخل رقم 200 . وفي المواصفات المصرية يجب ألا تزيد النسبة المئوية للمحجوز على منخل 170 عن 5 ، 10% لكل من الأسمنت البورتلاندي العادي والأسمنت سريع التصلد على الترتيب. أما بالنسبة للـ ASTM فإنه يجب ألا تزيد نسبة المحجوز على منخل 200 عن 20% للأسمنت. وتوجد طريقة أخرى للتعبير عن النعومة عن طريق قياس المساحة السطحية بالسقم<sup>2</sup> للجرام ، وذلك باستخدام طريقة واجنر (Wagner Turbid Meter) (ASTM C115)، والتي تقيس المساحة بقياس كثافة طسوه يمر على محلول من الأسمنت والكبروسين من خلال خلية ضوئية كهربائية (Photoelectric Cell). وتوجد طريقة Blain Air Permeability Apparatus في المواصفات البريطانية BS 4550، وذلك لقياس المساحة السطحية للأسمنت ( $S_c$ ) عن طريق إمرار تيار من الهواء القياسي (تحت ضغط قياسي) خلال عينة قياسية من الأسمنت ، وتحديد الزمن اللازم لنفاذ هذا الهواء خلال عينة الأسمنت ، وكلما زاد هذا الزمن ( $t_c$ ) دل ذلك على زيادة نعومة الأسمنت.

$$S_c = \alpha \sqrt{t_c} \quad (15-2) \dots\dots\dots$$

### 7-2 قوام العجينة القياسية:

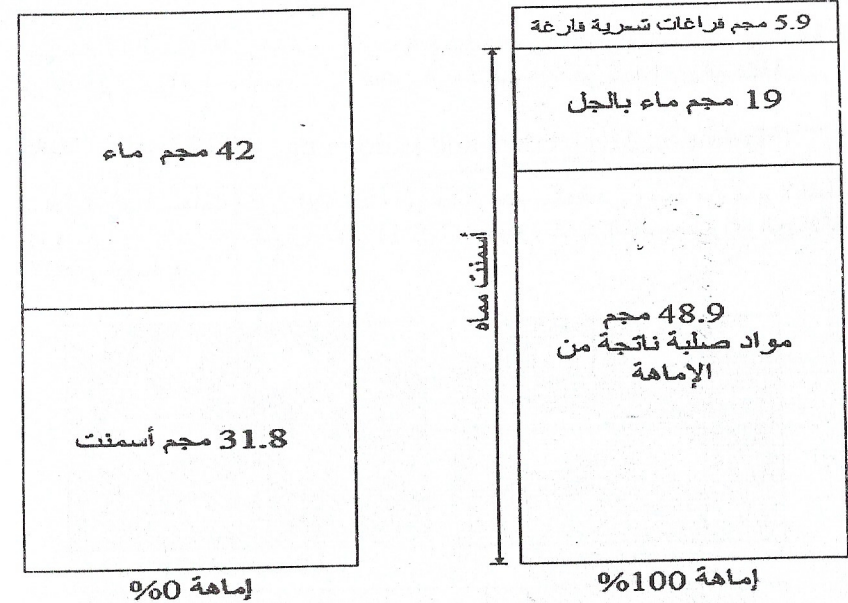
#### Consistency of Standard Paste (ASTM C187):

إن محتوى الماء يؤثر تأثيراً مباشراً على زمن شك الخرسانة وعلى ظاهرة الثبات الحجمي. لذلك يجب أن يستخدم المهندس قوام ثابت لعجينة الأسمنت (أسمنت وماء) وهذا القوام يتحقق بنسبة ماء الى الأسمنت قياسيه ويطلق على محتوى الماء ذلك بالماء القياسي . ويعرف الماء القياسي بأنه النسبة المئوية الوزنية للماء منسوباً لوزن الأسمنت ، والذي يسمح لاسطوانة فيكات قطر 10 مم والتي وزنها 300 جم باختراق سطح العجينة الأسمنتية الموضوعة في مخروط بارتفاع 40 مم مسافة قدرها  $1 \pm 35$  مم من قمة المخروط (تخترق الاسطوانة قالب العجينة لمسافة  $1 \pm 5$  مم من قاع القالب)، يُرجع لملح التجارب في نهاية الباب. وتتراوح نسبة الماء القياسية طبقاً لنوع الأسمنت بين 25 ، 31 %.

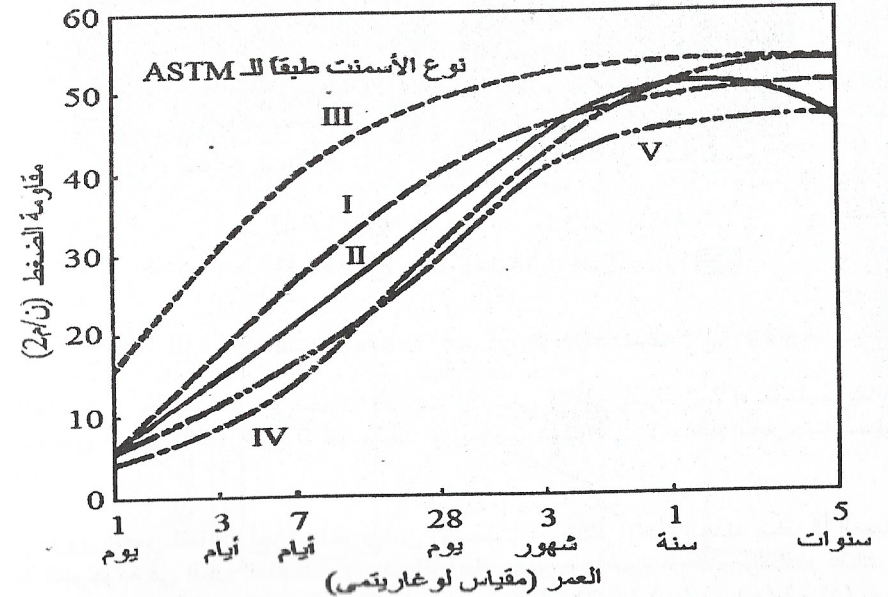
#### 3-7 شك الأسمنت (Setting of Cement):

1-3-7-2 عام:

عند إضافة الماء للأسمنت تكون العجينة الأسمنتية لدنة قابلة للتشكل مثل الغراء ، ومع مرور الوقت تبدأ العجينة في فقد لدونتها. وعندما تفقد العجينة لدونتها وتبدأ في الشك (Setting) يقال



شكل (7-2) حجم الجل



شكل (8-2) العلاقة بين مقاومة الضغط والعمر لأنواع مختلفة من الأسمنت  
7-2 الخواص الفيزيائية للأسمنت (Physical Properties of Cement):

#### 1-7-2 نعومة الأسمنت (Fineness of Cement):



أن الأسمنت قد شك ابتدائياً. ومع مرور الزمن تبدأ العجينة في التصلب ، وعندما تستلم العجينة تحمل إجهادات ضغط خارجية صغيرة يقال أنها قد شكت شكاً نهائياً. ويجب تحديد زمن الشك الابتدائي الذي يجب أن لا يقل عن 45 دقيقة حتى يسهل تشغيل المونة الأسمنتية وصب الخرسانة. ويتراوح هذا الزمن بين 2.00 ، 3.50 ساعة وبالنسبة للمواصله المصريه لعام 2006 لا يقل زمن الشك الابتدائي عن 75 ، 60 ، 45 دقيقة للرتب 42.5 ، 52.5 ، على الترتيب .

ويجب ألا يزيد زمن الشك النهائي عن 10 ساعات حتى يمكن فك الشدات والقوالب مبكراً (ويتراوح هذا الزمن في الواقع بين 5-8 ساعات). ويحدد زمن الشك عملياً بواسطة جهاز فيكات كما هو وارد في الملحق العملي في نهاية الباب . وطبقاً لاختبار فيكات يعرف زمن الشك كما يلي :

- زمن الشك الابتدائي: هو الزمن من لحظة إضافة الماء القياسي للأسمنت وحتى اختراق إبره فيكات بقطر 1 مم عجينة الأسمنت القياسية لمسافة 35 مم من قمة المخروط الناقص (5 مم من القاع).
- زمن الشك النهائي: هو الزمن من لحظة إضافة الماء القياسي للأسمنت وحتى اختراق إبره فيكات بقطر 1 مم عجينة الأسمنت القياسية لمسافة 0.5 مم من قمة المخروط (أي حتى اختفاء أثر الجزء الدائري).

#### 2-3-7-2 العوامل المؤثرة على الشك:

توجد عدة عوامل تؤثر على شك الأسمنت منها:

- (1) كلما زادت درجة الحرارة المحيطة يقل زمن الشك (2) كلما زاد محتوى الماء المضاف للأسمنت يزيد زمن الشك. (3) درجة الحرق (التكلس) للأسمنت: حيث يقل زمن الشك مع زيادة درجة الحرق. (4) ومن المهم أن يكون هناك تناسب بين نسبة  $C_3A$  ونسبة ثالث أكسيد الكبريت المعبر عن الجبس وذلك للتحكم في زمن الشك، كما هو مبين بجدول رقم (3-2).

جدول (3-2) نسبة ثالث أكسيد الكبريت

نوع الأسمنت (Type)	عادي I	معدل II	سريع III	منخفض الحرارة	مقاوم للكبريتات
$C_3A \leq 8\%$	3.0	3.0	3.5	2.3	2.3
$C_3A > 8\%$	3.5	—	4.5	—	—

#### 4-7-2 عدم الثبات الحجمي (Unsoundness):

إن الأسمنت بعد تصلبه يكون مباني خرسانية أو حوائط من الطوب. ونظراً لوجود الجير الحى والماغنسيوم في الأسمنت فإنه يحدث تفاعل لتلك الأكاسيد مع ماء الخلط بعد تصلب الخرسانة أو المونة، وتحدث تفاعلات تؤدي إلى زيادة حجمية للخرسانة أو للمونة. وعندما تكون تلك الزيادة كبيرة تتولد شروخ ، وقد تظهر هذه الشروخ بعد مرور عدة أشهر، وتسمى هذه الزيادة بعدم الثبات الحجمي للأسمنت. ولوحظ أن الأسمنت الناعم يساعد على سرعة تفاعل الجير الحر والماغنسيوم الحر عند خلط الخرسانة ، وبالتالي يحسن من الثبات الحجمي في المراحل اللاحقة. ويزيد عدم الثبات الحجمي كلما زادت نسبة الجير والماغنسيوم وناتج تفاعل  $C_3A$  مع الجبس .

ولكى يتأكد المهندس من عدم حدوث زيادة حجمية كبيرة نتيجة استخدام الأسمنت يلجأ لاختبار الثبات الحجمي للأسمنت . وتستخدم دولياً إحدى طريقتين هما طريقة لوشاتليه وطريقة الأوتوكلاف. وتعتمد الطريقة الأولى (لوشاتليه) على صب اسطوانة بعجينة قياسية للأسمنت وبعد مرور 24 ساعة يتم تعريضها للغليان حتى يتم دفع الجير الحى للتفاعل، ويتم قياس الزيادة في قطر الاسطوانة. أما طريقة (الأوتوكلاف) فيتم صب منشور من العجينة القياسية للأسمنت.

وبعد مرور 24 ساعة يتم وضعها في الأوتوكلاف وتعريضها لضغط بخار مقداره 2 ميجا باسكال ثم تبرد ويقاس الزيادة في طول المنشور للحكم على الزيادة الحجمية (انظر ملحق العملي). ويجب استخدام الأوتوكلاف إذا زادت نسبة أكسيد الماغنسيوم عن 4%، والذي يجب ألا يزيد عن 5% في بعض أنواع الأسمنت ، واستخدام ضغط بخار ضروري لدفع أكسيد الماغنسيوم للتفاعل.

#### 2-3-7-2 مقاومة الضغط لمونة الأسمنت:

#### Compressive Strength of Cement Mortar:

لمثل مقاومة الضغط العامل الأساسي لخواص الأسمنت ، لأن الخرسانة والمونة الأسمنتية تستخدم أساساً لتحمل إجهادات الضغط. وتتوقف مقاومة الأسمنت للضغط على عدة عوامل منها:

- (1) هل سيجرى الاختبار لعجينة الأسمنت أم لمونة الأسمنت أم للخرسانة.
- (2) زيادة نعومة الأسمنت تحسن من المقاومة المبكرة.
- (3) كلما زادت درجة حرق الكلنكر تحسن مقاومة الضغط.
- (4) كلما زاد عمر الأسمنت المماء تحسن المقاومة.
- (5) زيادة نسبة الماء للأسمنت تقلل من مقاومة الضغط.
- (6) كلما زادت فترة تخزين الأسمنت تقل مقاومة الضغط.
- (7) زيادة نسبة الرمل للأسمنت تقلل المقاومة .

وتستخدم كل المواصفات العالمية مونة الأسمنت لتحديد مقاومة الضغط. تستخدم مواصفة ASTM C100 مكعبات مقاسها 50 مم ونسبة رمل أوتواو إلى الأسمنت 1: 2.75 بالوزن ونسبة ماء إلى أسمنت قدرها 0.485.

المواصفة ASTM C3499 تحدد مقاومة المونة باختبار منشور  $160 \times 40 \times 40$  مم في الانحناء وتؤخذ العينتين المنفصلتين في الانحناء، ويتم اختبارهما في الضغط باستخدام لوحين ارتكاز مقاسهما  $50.8 \times 40.32$  مم، وتحسب مقاومة الضغط للأسمنت ( $f_{c0}$ ) كما يلي:

$$f_{c0} = 0.62P \quad (Kg/cm^2)$$

حيث P حمل كسر للعينة المنشورية بالنيوتن

وتستخدم BS 4550 والمواصفات المصرية 373-1991 مكعبات ذات مقاس 70.7 مم ومونة أسمنتية تتكون من  $W/C = 0.40$  ونسبة رمل قياسي إلى أسمنت قدرها 3: 1 بالوزن، وتستخدم مواصفة BS 4550 أيضاً مكعب مقاسه 100 مم لخرسانة لها نسبة ماء لأسمنت 0.60 ونسبة ركام كبير لركام صغير قياسية، وهذا للحصول على مؤشر لمقاومة الخرسانة في الضغط (انظر الملحق العملي).

#### 2-3-9 أنواع الأسمنت (Types of Cement):

يأتج الأسمنت خلال العالم طبقاً لمواصفات وتقسيمات مختلفة. ولكن يمكن إجمال الأنواع العامة للأسمنت في:

- أسمنت بورتلاند عادي يستخدم في أكثر من 90% من المواقع وأسمنت سريع التصلد وأسمنت مقاوم للكبريتات وأسمنت منخفض الحرارة وأسمنت بوزولاني وأسمنت مخلوط وأسمنت خبث.



## 1-9-2 تقسيم هيئة اختبار المواد الأمريكية ASTM لأنواع الأسمنت:

جدول (4-2) يحتوى على الخمسة أنواع الرئيسية فى تقسيم الـ ASTM والاسم الشائع لها فى مصر.

ويلاحظ أن الأسمنت رقم I يمثل الأسمنت العادى والذي يستخدم فى المنشآت التى لا يتطلب إنشائها متطلبات خاصة أو لا تتعرض لمهاجمات كيميائية. والأسمنت رقم II به نسبة  $C_3A$  متوسطة بالإضافة إلى أن هذا الأسمنت حرارته منخفضة نسبياً لذلك يستخدم فى حالة وجود نسبة كبريتات متوسطة (Moderate) ويمكن استخدامه فى حالة عدم توفر أسمنت الخبث عند تعرض الخرسانة المسلحة لمهاجمة مزدوجة من الكلوريدات والكبريتات.

جدول (4-2) الأنواع الخمسة الرئيسية للأسمنت فى ASTM

رقم الأسمنت	I	II	III	IV	V
الاسم الشائع فى مصر	عادى	معدل	سريع التصلد	منخفض الحرارة	مقاوم للكبريتات
الاستخدام	فى الظروف الطبيعية	مهاجمة كبريتات متوسطة	الإنشاء السريع	المنشآت الكتلية	مهاجمة الكبريتات
التركيب الكيميائى *	$C_3S$ $C_2S$ $C_3A$ $C_4AF$ $CS H_2$	45 30 7 12 5	60 15 10 8 5	25 50 5 12 4	40 40 4 10 4
النعومة (بلين م <sup>2</sup> /كجم)	350	350	450	300	350
مقاومة الضغط عند عمر يوم (ن/مم <sup>2</sup> )	7	6	14	3	6
حرارة إمائه عند 7 أيام (جول/مم)	330	250	500	210	250

\* قيم استرشادية متوسطة

والأسمنت رقم III نسبة  $C_3S$  فيه عالية ، ونعومته عالية لذلك تكون مقاومته المبكرة عالية وحرارة إمائه عالية، لذلك يستخدم عندما نريد فك الشدات مبكراً أو للإنشاء السريع ولصب خرسانة سابقة الصب فى المصانع. ويجب الاهتمام بالمعالجة المبكرة والسيطرة على حرارة الخرسانة. ويجب ألا يستخدم هذا الأسمنت فى الخرسانة الكتلية أو ذات السمك الكبير (سمك متوسط 0.50 متر) أو فى المنشآت التى يحدث فيها تغيير كبير فى القطاعات الخرسانية المختلفة.

والأسمنت رقم V هو أسمنت مقاوم للكبريتات يتميز بانخفاض نسبة  $C_3A$  حيث تقل نسبة المولسفلوألومينات. فإذا ما هاجمت الكبريتات الخارجية الخرسانة يقل تأثير المهاجمة وتقل التمددات الحجمية والشروخ. وتنص مواصفة ASTM C150 على ألا تزيد قيمة  $C_3A$  عن 5% (تنص المواصفات المصرية 583-1993 على ألا تزيد نسبة  $C_3A$  عن 3.5%)، ويجب ألا تزيد نسبة  $(C_3A + C_4AF)$  عن 20% من وزن الأسمنت ولا يزيد محتوى الماغنسيوم عن 6%. بينما تطلب مواصفة BS 4027:1980 على ألا يزيد  $C_3A$  عن 3.5% من وزن الأسمنت. ومن المهم لفت النظر إلى أن نقص  $C_3A$  قد يؤدى لخفض المقاومة المبكرة، لذلك يجب الاهتمام بالخرسانة عند استخدام إضافات موزلة للشك، بحيث تستخدم الجرعة المناسبة

والا فإن الخرسانة لن تشك. ويصنع هذا الأسمنت بإضافة مادة خام تزيد من عنصر الحديد (مثل بيت الحديد) لى تزيد من نسبة  $C_4AF$  وتقل نسبة  $C_3A$ .

الأسمنت رقم IV هو أسمنت منخفض الحرارة، ويتميز بزيادة نسبة السليكا وانخفاض نسبة الكالسيوم، ولذلك تكون نسبة  $C_3S$  قليلة وكذلك نسبة  $C_3A$  ولذلك تنخفض حرارة الإمائه ، ولذلك يستخدم هذا الأسمنت فى المنشآت الكتلية وخاصة منشآت الرى حتى لا ترتفع درجة الحرارة داخل الخرسانة وتؤدى إلى تشريحها. ويجب على المهندس الوضع فى الاعتبار أن مقاومة الضغط عند 28 يوم ستكون منخفضة ثم تتحسن المقاومة مع الأعمار اللاحقة. ويلاحظ أن هذا الأسمنت تحمله لمهاجمة الكبريتات جيدة.

## 2-9-3 أسمنت الخبث (Slag Cement):

واضح أن خبث الحديد الناتج من صناعة الصلب يحتوى تقريباً على نفس الأكاسيد الموجودة فى الأسمنت. ووجد أنه يحتوى على 42% جير، 30% سيلكا، 19% ألومينا، 5% ماغنسيوم، 1% أكاسيد قلوية فى المتوسط.

ويؤخذ هذا الخبث ويتم تقسيته (Quenching) بواسطة تبريده بالماء بسرعة ليتحول بناؤه إلى البناء الزجاجى (Glassy) بحيث يكون نشط ومنع حدوث بلورات كبيرة. ويوجد عدة أنواع من الأسمنت الخبثى هى:

### 1) الأسمنت البورتلاندى الخبثى (Portland Blast Furnace Cement):

حيث يتحول الأسمنت الخبثى إلى مادة أسمنتية ويتم تنشيط الخبث بوجود كمية من هيدروكسيد الكالسيوم بإضافة نسبة من الأسمنت البورتلاندى العادى ثم يتم الطحن. وقد تتغير نسبة الخبث من دولة إلى دولة. ومن أمثلة ذلك أنه تتراوح نسبة الخبث بين 25، 60% فى الأسمنت Type IS Cement المنصوص عليه فى ASTM C595 والمواصفات البريطانية BS 4246 تسمح بنسبة تتراوح بين 50، 90.

### 2) الأسمنت الخبثى الجيرى (Lime-Slag Cement):

وفى هذا الأسمنت يكون الجير هو منشط الخبث واستخدامه قليل على مستوى العالم.

### 3) الأسمنت عالى التحمل للكبريتات (Super-Sulfated Cement):

وفى هذا الأسمنت يتم تنشيط الخبث عن طريق إضافة كبريتات الكالسيوم الغير مماهه  $(CaSO_4)$  مع قليل من الجير أو الأسمنت البورتلاندى. وهذا الأسمنت مصنف فى المواصفة (BS 4248) واستخدامات هذا الأسمنت قليلة، ولكن الحرارة المنبعثة منه قليلة مقارنة بالأسمنت البورتلاندى الخبثى، كما أن تحمله للكبريتات أفضل حيث تقل نسبة CH، وأغلب الألومينا يتحد ويكون فى صورة إترنجيت مما يكسبه مقاومة مبكرة.

## 3-9-3 أنواع أخرى من الأسمنت:

وتوجد أنواع أخرى فى السوق العالمية، ومنها الأسمنت البورتلاندى البوزولانى (أسمنت بورتلاندى مضاف إليه مادة بوزولانية مثل غبار السليكا)، والأسمنت القابل للتمدد (Expansive Cement) (أسمنت مضاف إليه إضافات كيميائية تحدث تمدد يلاشى انكماش الخرسانة أو يقلل منه).

ويمثل الأسمنت الأبيض أحد الأسمنتات التى تستخدم فى الأعمال المعمارية وأعمال الديكور وألوانه أبيض، وينتج باستخدام حجر جيرى نقى وطين أبيض مثل الكاولين، ويجب إقلال نسبة الحديد الحديد (المستول عن اللون الرمادى) إلى أقل من 0.5%.

ويوجد فى بعض الدول الأسمنت المخلوط، حيث يضاف للأسمنت مادة مائنة مثل كربونات الكالسيوم أو الرمال وذلك بعد تلعيمها لدرجة كبيرة. وهذا الأسمنت لا يستخدم فى الخرسانة المسلحة.



جدول (5-2) مكونات أنواع الأسمنت III ، IV ، V

مكونات إضافية	الرماد الطائر		البوزولاني		غبار السليكا	خبث الأفران العالية	كلنكر	نوع الأسمنت	
	مكلسنه	طبيعيه	مكلسنه	طبيعيه					
صفر-5						65-36	64-35	CEM III/A	CEM III خبث الأفران العالية
صفر-5						80-66	34-20	CEM III/B	
صفر-5						95-81	19-5	CEM III/C	
صفر-5			35-11			—	89-65	CEM IV/A	CEM IV البوزولاني
صفر-5			55-36			—	64-45	CEM IV/B	
صفر-5			30-18			30-18	64-40	CEM V/A	CEM V الركب
صفر-5			50-31			50-31	38-20	CEM V/B	

- ويلاحظ أن أسمنت CEM III يستخدم في مصر عن طريق استيراد الخبث ولكن للمشروعات الكبيرة.
- بينما الأسمنت CEM IV عبارة عن كلنكر يضاف إليه غبار سليكا أو بوزولاني أو رماد طائر.
- الأسمنت CEM V يتكون من خليط الكلنكر وخبث الأفران ومادة بوزولانية إما غبار سليكا أو بوزولاني أو رماد طائر غير مكلسن. ومن المهم التأكيد على أن الأسمنت II الذي يستخدم فيه الحجر الجيري والطفل يجب عدم استخدامه في الأعمال الخرسانية المسلحة إلى أن تثبت الأبحاث والمواصفات القياسية وكود الخرسانة صلاحيتهم لهذا الاستخدام.

#### 5-9-3 أمثله على إختيار نوع الأسمنت :

بالنسبة للخرسانه يرجع لباب رقم (5) الخلطات الخرسانية والباب السادس (تحميلية الخرسانه) قبل الإطلاع على تلك الأمثله .

مثال (1) :

مثلاً خرساني يتكون من 40 طابق يرتكز على خوازيق موضوعه في ماء جوفى محتوى الكلوريدات به 40000 جزء من المليون ومحتوى الكبريتات 3500 جزء من المليون معبراً عنها بـ SO<sub>3</sub> ذكر أنواع الأسمنت ورتبها طبقاً للمواصفه المصريه الحديثه .

الحل :

المنشأ عالي وبالتالي ستكون مقاومة الضغط عالية :

الخرسانة الأساسات سوف تتعرض لمهاجمة مزدوجة من الكبريتات والكلوريدات ولذلك

سنستخدم أسمنت عالي الخبث برتبة لا تقل عن CEM III A/C 42.5 .

الخرسانة المنشأ يستخدم CEM I N42.5 .

#### 9-2 - 4 أنواع الأسمنت طبقاً للمواصفة القياسية المصرية م.ق.م 2006/4756 :

هذه المواصفة مأخوذة من المواصفة البريطانية الأوربية رقم 197 (-1-197 BSEN 2004)، ولذلك تشمل أسمنتات غير موجودة في السوق المحلي ، ولا تشمل تلك المواصفة إلا على الأسمنت المكون أساساً من كلنكر الأسمنت سواء أكان مكون رئيسي أو جزئي ، ولا تشمل هذه المواصفة على الأسمنت المقاوم للكبريتات و الأسمنت منخفض الحرارة . تستخدم المواصفة كلمة CEM للدلالة على الأسمنت ، ويقسم الأسمنت طبقاً لتلك المواصفة إلى خمسة أنواع رئيسية هي:

1. الأسمنت البورتلاندى (CEM I) بنوعيه؛ العادى وبأخذ الرمز N والأسمنت البورتلاندى سريع الشك وبأخذ الرمز R وبذلك يكون لدينا CEM I R & CEM I N
2. الأسمنت البورتلاندى المركب (CEM II) ، وهو ينتج من استخدام الكلنكر مع مادة أخرى.
3. أسمنت خبث الأفران العالية (CEM III) ، وهو ينتج من استخدام كلنكر الأسمنت وخبث الحديد.
4. الأسمنت البوزولاني (CEM IV) ، وهو يتكون من الكلنكر ومادة البوزولانا.
5. الأسمنت المركب (CEM V) ، ويتكون من خلط الكلنكر مع مادتين وجدول (5-2) يحتوى على مركبات الأسمنتات أنواع III ، IV ، V .

ويعرف الأسمنت بجانب رموز تركيبة برتبة مقاومة ضغط مونة الأسمنت عند عمر 28 يوم. وتوجد ثلاثة رتب لمقاومة الضغط هي 32.5 ، 42.5 ، 52.5 ن/مم<sup>2</sup>. فمثلاً عندما يكون مكتوب على كيس الأسمنت (CEM I R42.5) فهذا يعنى أن الأسمنت هو أسمنت بورتلاندى سريع الشك ومقاومة ضغط مونته بعد 28 يوم = 42.5 ن/مم<sup>2</sup>. ونتناول في مايلي استعراضاً للأنواع المختلفة.

- الأسمنت البورتلاندى (CEM I): يشمل الأسمنت البورتلاندى العادى أو سريع التصلا كما سبق ذكره، ويتكون من كلنكر بنسبة بين 90-100% ومواد مضافة بنسبة تتراوح بين صفر، 5% . وهذا الأسمنت ينتج في مصر .
- الأسمنت البورتلاندى المركب (CEM II) : وهو لا ينتج في مصر، ويضاف للكلنكر مادة بوزولانية أو غبار السيليكا أو رماد متطاير أو طقل محروق أو حجر جبرى. جدول (6-2) يحتوى على الأفرع المختلفة للأسمنت CEM II ويلاحظ أن للأسمنت المضاف اليه ماده بوزولانيه أو الرماد المتطاير تغيير نسبة تلك الإضافات لتحقيق مواصفات أغلب الدول الأوروبية.



مثال (3) : قواعد خرسانية تتعرض لمهاجمة كبريتات تركيزها 2500 جزء في المليون والكوريدات تركيزها 900 جزء في المليون . الحل : نوع الأسمنت مقاوم للكبريتات .

مثال (4) : قواعد خرسانية تتعرض لمهاجمة ماء بها نسبة كلوريدات 30000 جزء في المليون والكبريتات 200 جزء في المليون .

الحل : نوع الأسمنت CEM I R Or CEM I N أو CEM III A/C .

مثال (5) : أساسات قناطر على النيل .

الحل : نوع الأسمنت منخفض الحرارة TYPE IV طبقاً لـ ASTM .

مثال (6) : مصنع خرسانه جاهزة يقوم بصبب أعضاء منشآت خرسانية .

الحل : نوع الأسمنت CEM I R 42.5 .

مثال (7) : خرسانة تهاجم بماء به نسبة الكبريتات (SO3) = 500 جزء في المليون .

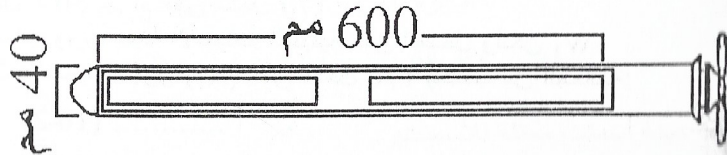
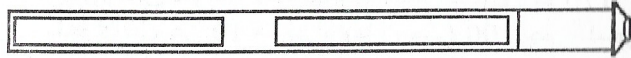
الحل : نوع الأسمنت TYPE II طبقاً لـ ASTM .

### 10-2 اختبارات الأسمنت:

#### 1-10-1 أخذ عينات الأسمنت (Sampling of Cement):

- يهدف هذا الاختبار لتحديد كيفية أخذ عينات من الأسمنت لإجراء اختبارات الصلاحية عليه ، وتسمى هذه الطريقة بالطريقة القياسية لأخذ العينات .
- تعرف رسالة الأسمنت بأنها كمية محددة من الأسمنت تم توريدها ومعرضة للاختبار عند وقت محدد ومنتجة في وقت معين .
- العينة المقررة هي عينة يتم أخذها من رسالة أسمنتية واحدة .
- العينة المركبة هي عينة مأخوذة من عدة رسائل تم توريدها على فترات زمنية قريبة ثم تخلط ويؤخذ منها عينة مركبة .
- يتم أخذ العينات إما باستخدام أنبوبة سحب قياسية كما هو موضح بشكل (2-9) أو جاروف سحب عينات قياسي كما هو موضح بشكل (2-10) .

### أنبوبة داخلية



شكل (2-9) أنبوبة سحب قياسية

### جدول (2-6) المكونات والأنواع الفرعية للأسمنت CEM II ونسبها .

نوع الأسمنت	كلنكر	خبث الأفران	غبار السليكا	البوزولاني		الرماد الطائر		الطفل المحروق	مكونات إضافية
				طبيعيه	مكلسنه	طبيعيه	مكلسنه		
الأسمنت البورتلاندى خبث الأفران	80-94	20-6							5-0
	65-79	-21 35							5-0
أسمنت بورتلاندى بوزولانى	80-94			20-6					5-0
	65-79			-21 35					5-0
	80-94				20-6				5-0
	65-79				-21 35				5-0
أسمنت البورتلاندى الرماد المتطاير	80-94					20-6			5-0
	65-79					-21 35			5-0
	80-94						20-6		5-0
	65-79						-21 35		5-0
أسمنت البورتلاندى الطفل المحروق	80-94							20-6	5-0
	65-79							35-21	5-0
غبار السليكا	80-94								20-6
	65-79								35-21
أسمنت بورتلاندى مركب	80-94		10-6						5-0
	65-79								5-0

### جدول (2-6) مستمر المكونات والأنواع الفرعية للأسمنت CEM II الأسمنت البورتلاندى الحجر الجيرى ونسبها .

نوع الأسمنت	كلنكر	حجر جيرى *		مكونات إضافية
		LL	L	
الأسمنت البورتلاندى الحجر الجيرى	80-94	20 - 6		5-0
	79-65	35 - 21		5-0
	80-94	20 - 6		5-0
	79-65	35 - 21		5-0

- LL أو L يتوقف على نسبة الكربون العضوى فى مطحون الحجر الجيرى .

L لايزيد محتوى الكلى للكربون العضوى عن 0.5 % من الوزن .

LL لايزيد محتوى الكلى للكربون العضوى عن 0.2 % من الوزن

مثال (2) : حوائط طوب لاتتعرض لأية مهاجمات .

الحل : نوع الأسمنت أى نوع ماعدا الأسمنت السريع (R) .



- في حالة اختلاف  $R_2$  عن  $R_1$  بأكثر من 1% يجرى الاختبار على عينة ثالثة وتؤخذ متوسط الثلاث تجارب.

### 3-10-1 تعيين نعومة الأسمنت باستخدام جهاز بلين:

#### Determination of fineness of cement using Blaine apparatus:

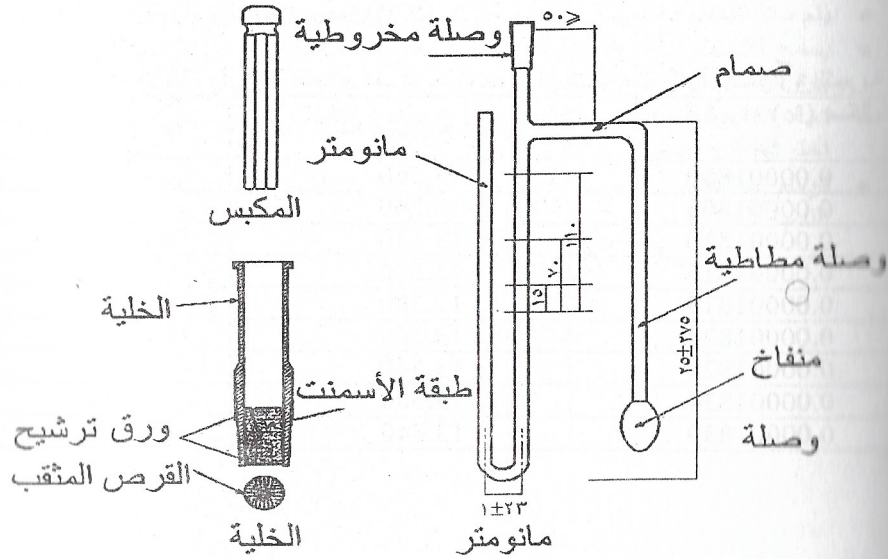
- يجرى هذا الاختبار لقياس المساحة السطحية لحبيبات الأسمنت لوحدة الوزن معبّرًا عنها سم<sup>2</sup>/جم. ويتم حسابها باستخدام جهاز بلين عن طريق حساب الزمن اللازم لنفاذ كمية محددة من الهواء خلال عينة قياسية من الأسمنت، ثم تحسب المساحة كدالة من ذلك الزمن.

- يتكون جهاز بلين - كما هو مبين بشكل (11-2) - من:

- خلية توضع فيها طبقة الأسمنت وفي أسفلها يوضع قرص مثقب. وطبقة الأسمنت تكون محصورة بين ورقتي ترشيح وتوضع الخلية في الوصلة المخروطية.

- مكبس يستخدم في دمك عينة الأسمنت.

- مانومتر يتصل بأحد أفرعه منفاخ لدفع الهواء في المانومتر. والمانومتر يوضع به سائل غير متطاير وغير قابل للتميع مثل ثنائي بيوتيل فيثالين أو زيت معدني خفيف ويجب توفر موازين وساعات إيقاف وقتينة كثافة.



شكل (11-2) جهاز بلين

- تؤخذ عينة أسمنت ممثلة للأسمنت.
- توضع عينة أسمنت وزنها قياسي بالخلية فوق القرص المثقب، ويوضع أسفلها وأعلىها ورقة تنشيف.
- يحرك المكبس حتى تلامس ضاغته ورق الترشيح العلوية، ويتم دمك الأسمنت بطريقة قياسية (بضغط ضاغط المكبس على الأسمنت حتى نهايته ثم يرفع المكبس

### الأبعاد التقريبية للجاروف

القطر	= 225 مم
عمق الجاروف	= 175 مم
طول اليد	= 1800 مم



منظر جانبي

منظر أمامي

شكل (10-2) جاروف سحب عينة الأسمنت

- إذا كانت الرسالة أقل من أو يساوي 20 طن من مصدر واحد تؤخذ عينة واحدة، وإذا زادت الرسالة عن 20 طن فتؤخذ عينة لكل 20 طن.
- لا يقل وزن العينة المسحوبة عن 5 كجم.
- يجب وضع العينات في إناء مغلق تماماً عازل للرطوبة.
- يجرى الاختبار خلال شهر من إنتاج الأسمنت وخلال 28 يوم من أخذ العينات.
- في حالة توريد الأسمنت في أكياس يتم أخذ عدد من الأكياس عددها لا يقل عن الجذر التكعيبي للعدد الكلي من الأكياس.
- وتسحب عينة من كل كيس بالأنبوبة القياسية ثم يتم تجميعها معاً.
- في حالة توريد الأسمنت سائب في عربة أو سفينة أو صومعة فتؤخذ العينة من عدة أعماق أو أماكن وتجنب الطبقات العليا في حالة السيارات. وينصح الكاتب بأخذ ثلاث عينات على الأقل بحيث تؤخذ عينة على الأقل من كل 20 طن.
- يكتب تقرير عن العينة به كل المعلومات عنها وعن طرق أخذ العينة.

### 2-10-2 تعيين نعومة الأسمنت باستخدام منخل رقم 170:

#### Fineness of Cement by the Sieve No. 170:

- الغرض من الاختبار هو تعيين نعومة الأسمنت باستخدام المنخل رقم 170.
- يتم استخدام ميزان دقته لا تقل عن 10 مليجرام ويزن حتى 100 جم.
- يتم أخذ عينة من الأسمنت قياسية وتوضع في زجاجة مغلقة وترج لمدة دقيقتين.
- يتم وزن عينة من الأسمنت قدرها 50 جرام.
- يتم نخل الـ 50 جرام على منخل 170.
- يتم حساب وزن عينة الأسمنت المتبقية على المنخل ولتكن  $W_1$ .
- % للأسمنت المحجوز ( $R_1$ ) على منخل 170 يحسب من المعادلة:

$$R_1 = \frac{W_1 \times 100}{50} \quad (16-2)$$

- تكرر التجربة على عينة أخرى ويحدد % للأسمنت المحجوز ( $R_2$ ).
- النسبة المئوية للمحجوز على منخل 170 ( $R$ ) = متوسط النسبة المئوية للمحجوز للعينتين المختبرتين.

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2} \quad (17-2)$$



### 1-3-10 جهاز فيكات:

- الجهاز مبين بشكل (2-12) وهو عبارة عن إطار معدني ينزل داخله حامل (وزنه 300 جم) مثبت به إحدى أطراف فيكات الثلاثة.
- الأول منها اسطوانة قطرها  $0.5 \pm 10$  مم تستخدم لتحديد الماء القياسي.
  - والثاني عبارة عن إبرة قطرها 1 مم تستخدم لتحديد زمن الشك الابتدائي.
  - والثالث طرف عبارة عن إبرة قطرها 1 مم تبرز مسافة قدرها 0.5 مم من جزء دائري (م) ودورانية مثبتة في الإطار لقياس المسافة بين طرف فيكات وقاع المخروط.
  - مخروط ناقص لوضع عجينة الأسمنت به قطره العلوى  $5 \pm 70$  مم وقطره السفلى  $5 \pm 80$  مم وهو مفتوح الطرفين يجلس على لوح غير منفذ وارتفاع هذا المخروط  $2 \pm 40$  مم.

### 2-3-10 خطوات الاختبار:

- يتم تركيب اسطوانة فيكات (10 مم) ويتم دهان المخروط بالزيت.
- تؤخذ عينة بطريقة قياسية من الأسمنت.
- يتم وزن عينة من الأسمنت قدرها 400 جرام .
- يتم إضافة ماء بمحتوى تقريبي حوالى 20% من وزن الأسمنت. ويتم خلط العجينة فى مدة قياسية  $5 \pm 240$  ثانية باستخدام مسطرين قياسى وزنه 210 جم.
- يتم ملأ القالب بالعجينة فى نهاية مدة الخلط وتسويته .
- يسمح للأسطوانة باختراق المخروط بطريقة قياسية. وبعد 30 ثانية تقاس المسافة بين الاسطوانة وقاع القالب.
- تعد التجربة عدة مرات بمحتويات ماء مختلفة وحتى تسجل الاسطوانة مسافة اختراق  $1 \pm 5$  مم.
- ترسم علاقة بين محتوى الماء كنسبة من وزن الأسمنت ومسافة الاختراق. ثم نعين النسبة المئوية لمحتوى الماء القياسى الذى تحقق مسافة  $1 \pm 5$  مم من القاع .

حوالى 5 مم ويدار 90 درجة ثم يضغط مرة أخرى ويسحب برفق) ثم توضع الخلية فى الوصلة المخروطية.

- عن طريق المنفاخ يتم ضخ كمية قياسية من الهواء لكى يحدث فرق قياسى ضاغط بين طرفى المانومتر (بين علامتين) ويتم غلق الصمام حتى ندفع الهواء بالمرور فى الأسمنت.
- يسجل الزمن اللازم ( $t_c$ ) لهبوط السائل بين العلامتين. وكلما زاد هذا الزمن دل ذلك على نعومة الأسمنت.
- تحسب المساحة السطحية للأسمنت  $S_c$  (سم<sup>2</sup>/جم) من المعادلة:

$$S_c = K \times \sqrt{(P_c)^3 \times t_c} \quad (18-2)$$

$$Dc = (1 - Pc) \times \sqrt{0.1 \times Ic} \quad (19-2)$$

حيث

- $K$  ثابت الجهاز, ويحدد بالطريقة المذكورة فى المواصفات القياسية والتي تعتمد على عينة الأسمنت المرجعية.
- $Dc$  كثافة الأسمنت المختبر (جم/سم<sup>3</sup>), ويحدد بالطريقة المذكورة فى المواصفات القياسية.
- $Pc$  مسامية طبقة الأسمنت المختبر, وتحدد بالطريقة المذكورة فى المواصفات القياسية.
- $Ic$  لزوجة الهواء والمعطاء بجدول (7-2).

جدول (7-2) كثافة الزئبق ولزوجة الهواء عند درجات حرارة مختلفة طبقاً لدرجة حرارة التجربة

درجة الحرارة م°	كثافة الزئبق جم /سم <sup>3</sup>	لزوجة الهواء (Ic) بـسكال ثانية
16	13.560	0.00001800
17	13.560	0.00001805
18	13.550	0.00001810
19	13.550	0.00001815
20	13.550	0.00001819
21	13.540	0.00001824
22	13.540	0.00001829
23	13.540	0.00001834
24	13.540	0.00001839

### 3-10-2 محتوى الماء القياسى اللازم للعجينة الأسمنتية ذات القوام القياسى:

Standard Water Content Required for Cement Paste of Standard Consistency:



### 3-3-10-1 زمن الشك الابتدائي والنهائي للعجينة الأسمنتية باستخدام جهاز فيكات: Initial and Final Setting Times of Cement Paste Using Vicat's Apparatus:

#### 1. تحديد زمن الشك الابتدائي:

- يتم تركيب إبرة فيكات (1م) في حامل فيكات.
- يتم إضافة الماء القياسي المحدد في التجربة السابقة لـ 400 جرام أسمنت ويتم تشغيل ساعة الإيقاف.
- يتم الخلط للفترة القياسية ( $5 \pm 240$  مم) ويتم ملء القالب وتسويته.
- بعد مرور حوالي 15 دقيقة تترك الإبرة لتسقط وتخترق عجينة الأسمنت. وبعد 30 ثانية تقاس مسافة الاختراق على تدريج الجهاز.
- يتم رفع حامل الإبرة لأعلى وعلى فترات زمنية قدرها 10 دقائق يتم إنزال الإبرة لقياس مسافة الاختراق في أماكن مختلفة (المسافة بينها حوالي 10 مم) ونرسم علاقة بين الزمن ومسافة الاختراق من القاع.
- من النتائج نحدد الزمن الذي يتحقق عنده اختراق قدره  $1 \pm 5$  مم من القاع فيكون هو زمن الشك الابتدائي من لحظة إضافة الماء وحتى تلك اللحظة.

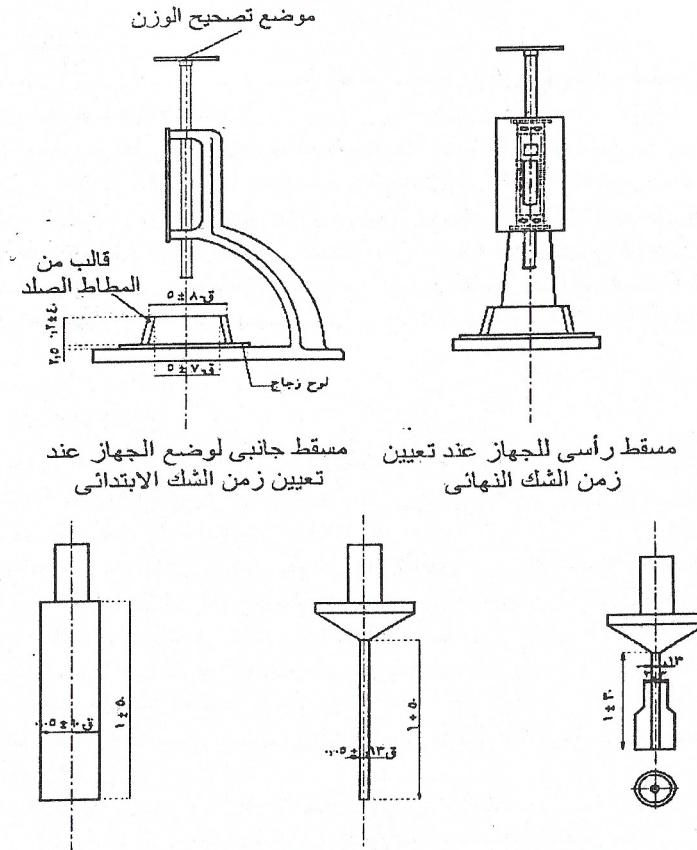
#### 2. تحديد زمن الشك النهائي:

- بعد تحديد زمن الشك الابتدائي يتم تغيير الإبرة بالإبرة المثبتة في طرف دائري وتبرز عنه مسافة 0.50 مم.
- على فترات زمنية قدرها 30 دقيقة يتم إسقاط الحامل ومعه الجزء الدائري ونسجل الزمن من لحظة خلط الماء وحتى لحظة اختراق الإبرة (1م) مسافة قدرها 0.5 مم من القمة. ويتم التعرف عليها عند اختفاء أثر الجزء الدائري مع بقاء أثر الإبرة (1م) (حيث يظهر أثرهما معاً قبل هذا الزمن).
- لا يقل زمن الشك الابتدائي عن 45 دقيقة لجميع أنواع الأسمنت ماعدا الأسمنت منخفض الحرارة فلا يقل عن 60 دقيقة ولا يقل زمن الشك النهائي عن 10 ساعات.

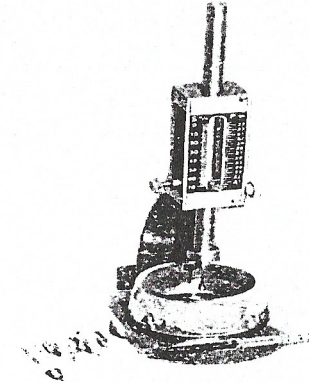
### 4-10-1 تقدير ثبات الحجم (التمدد) للأسمنت بطريقة لوشاتلييه:

#### Le Chatelier Expansion of Cement:

- بهدف هذا الاختبار لقياس تمدد الأسمنت باستخدام جهاز لوشاتلييه. حيث يتم تحديد التمدد بعد تعريض عجينة الأسمنت للغليان لتسريع تفاعل العناصر الكيميائية مع الأسمنت. وتستخدم هذه الطريقة في تحديد صلاحية جميع أنواع الأسمنت ماعدا الأسمنت ذو النعومة 4:00 أو عندما تزيد نسبة الماغنسيوم عن 4% ، وفي تلك الحالة يتم استخدام طريقة الأوتوكلاف.
- يتم الاستعانة بقالب لوشاتلييه المبين في شكل رقم (2-13). وهو عبارة عن قالب اسطواني مجوف من سبيكة نحاسية قطره 30 مم به ثقب طولي ، ومثبت به دليلان طولهما 150 مم ، ومع كل قالب لوحان من الزجاج يستخدمان كقاعدة وغطاء للقالب وزن كل منهما 75 جم على الأقل ، ويمكن وضع ثقل على اللوح العلوي.

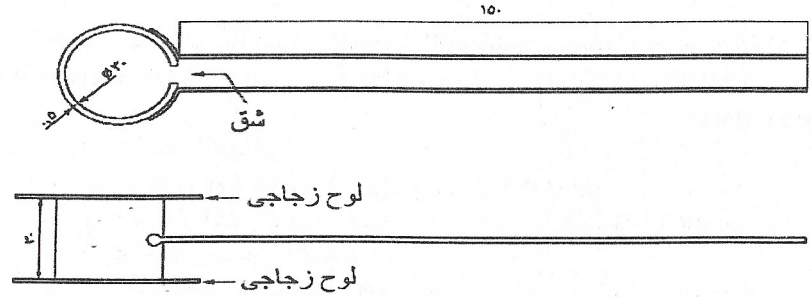


حلقه إبرة زمن الشك النهائي إبرة زمن الشك الابتدائي اسطوانة تعيين القوام القياسي  
شكل (2-12-أ) جهاز فيكات



شكل (2-12-ب) جهاز فيكات





شكل (2-13) جهاز لوشاتلييه

- يتم الاستعانة بحمام مائي يمكن رفع حرارته ميكانيكياً من 25°م إلى الغليان خلال 30 دقيقة ± 5 دقيقة ثم تظل درجة الحرارة ثابتة لمدة ساعتين (وهذه الطريقة سنطلق عليها الغليان القياسي).
- يتم خلط وزن معين من الأسمنت مع محتوى الماء القياسي الذي يعطى العجينة القياسية. ويتم الخلط للمدة القياسية (240 ± 5 ثانيه)، ونملاً قالب الذي سبق تزييته (يملاً قالبين من نفس العجينة) مع الحفاظ على الشق الطولي مغلق.
- تترك القوالب في ظروف قياسية (درجة حرارة 25 ± 2 درجة مئوية ورطوبة نسبية 98%) لمدة 24 ساعة ± 0.5 ساعة.
- يرفع القالب في نهاية هذه الفترة ونقيس المسافة بين طرفي الدليل لأقرب 0.50 مم ولتكن ف<sub>1</sub>.
- يوضع القالب في الحمام المائي ويعرض للغليان القياسي المذكور سابقاً لمدة ساعتين ونصف.
- يترك القالب ليبرد حتى درجة 25 ± 2 درجة مئوية.
- يتم قياس المسافة بين الدليلين ولتكن ف<sub>2</sub>.
- التمدد = ف<sub>2</sub> - ف<sub>1</sub>
- يؤخذ متوسط تمدد القالبين.
- لا يزيد التمدد عن 10 مم لجميع أنواع الأسمنت ، ولا يزيد عن 5 مم للأسمنت عالي المقاومة للكبريتات .
- بعض المواصفات تقيس المسافة ف<sub>2</sub> بعد وضع الجهاز في حمام مائي بارد (25 ± 1 درجة مئوية) لمدة سبعة أيام أي بدون غليان.

## 5-10-2 تقدير ثبات الحجم (التمدد) بطريقة الأوتوكلاف:

### Determination of Soundness of Cement Using Autoclave:

- يهدف الاختبار لتحديد التمدد الناتج عن تعريض منشور من عجينة الأسمنت لظروف تفاعل سريع ناتج عن تعرضه لبخار ماء تحت ضغط 2 ميجا باسكال لمدة 3 ساعات. ويستخدم هذا الاختبار للحكم على صلاحية الأسمنت ذي النعومة 4100 وصلاحية أي أسمنت تزيد نسبة أكسيد الماغنسيوم فيه عن 4%.
- يتم استخدام جهاز الأوتوكلاف ، وهو عبارة عن وعاء يتحمل الضغط العالي لبخار الماء ، وحجمه يسمح بوضع العينات به ، وبه مكان لوضع ترمومتر لقياس درجة الحرارة ، وهذا الوعاء مصمم بحيث ترتفع درجة الحرارة لتحويل الماء إلى بخار ، ويتم

ضبط ضغط البخار آلياً. والجهاز مزود بجهاز لقياس الضغط ، وبه صمام أمان وصمام تهوية يسمح بإخراج الهواء عند بداية التجربة ، ويسمح بإخراج البخار عند نهاية التجربة.

- يستخدم قوالب معدنية قوية لصب منشورات من عجينة الأسمنت أبعادها القياسية 25×25×285 مم ، ومثبت بنهائيتها طرفين معدنيين غير قابلين للصدأ لقياس المسافة.
- يتم وزن 650 جم من الأسمنت وخلطها مع محتوى الماء القياسي لعجينة الأسمنت القياسية المحدد من جهاز فيكات لمدة قياسية.
- يتم ملأ القوالب وتركها 24 ساعة في جو قياسي (رطوبة نسبية 95% ، درجة حرارة 23 ± 1.5 درجة مئوية).

يتم قياس الطول ل<sub>1</sub>.

- ضغ العينات في الأوتوكلاف وبه ماء حجمه حوالي 7-10% من حجم العينات.
- سخن الأوتوكلاف مع ترك الهواء يخرج وأغلقه بعد خروج البخار، واستمر في التسخين حتى يصل الضغط إلى 2 ميجا باسكال خلال 45-75 دقيقة.
- اترك العينات تحت هذا الضغط لمدة 3 ساعات.
- يبرد الأوتوكلاف لينزل الضغط إلى 0.07 ميجا باسكال في 1.5 ساعة.
- افتح حمام الهواء ليتعادل الضغط الداخلي مع الضغط الجوي.
- يفتح الأوتوكلاف وتوضع العينات في ماء درجة حرارته 90 ، ويبرد بماء ليصل لدرجة حرارته 23 درجة مئوية في 15 دقيقة.
- جلف العينات وقس الطول وليكن ل<sub>2</sub>.
- نحسب النسبة المئوية للتمدد =  $100 \times \frac{L_2 - L_1}{L_1}$
- لا تزيد النسبة المئوية للتمدد للأسمنت عن 0.8% ، ولا تزيد عن 0.5% للأسمنت ذو النعومة 4100.

## 6-10-1 كثافة الأسمنت (Density Of Cement):

- يجري هذا الاختبار طبقاً للمواصفة ASTM C188-84 لتحديد كثافة الأسمنت ، والتي تمثل النسبة بين كتلة الأسمنت وحجم حبيباته.
- تستخدم قنينة الكثافة الموصوفة في شكل (2-14).
- نوضع كمية من الكيروسين في القنينة بحيث يتم أخذ قراءة على التدريج وليكن (أ).
- نضع وزن حوالي 64 جرام من الأسمنت في القنينة لطرد أية هواء محبوس بتحريك القنينة حركة دورانية .
- اقرأ سطح الكيروسين الذي يرتفع للقراءة (ب).
- كثافة الأسمنت =  $\frac{\text{كتلة الأسمنت}}{\text{ب - أ}}$



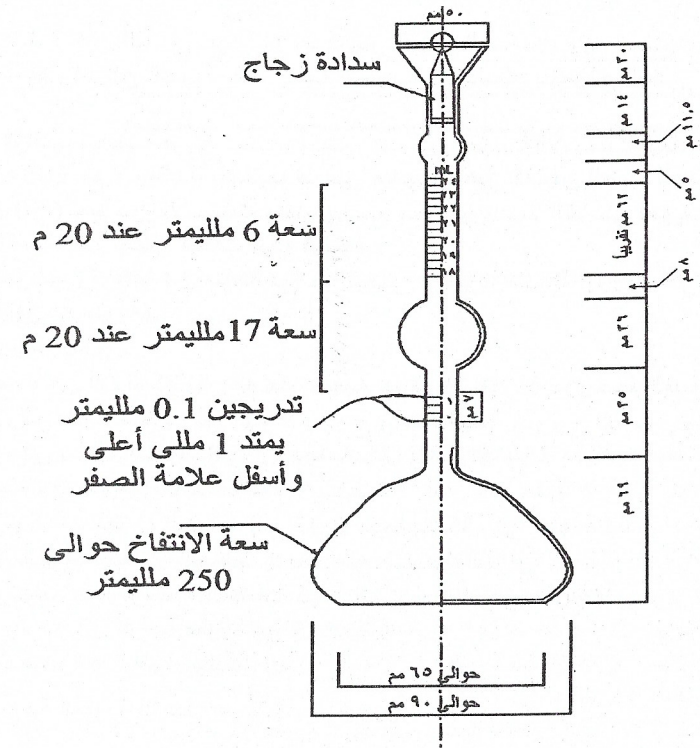
- ماكينة اختبار الضغط : تكون مناسبة للاختبار بحيث يقع حمل متوقع للعينة بين 20-80% من تدريج القياس بالماكينة , ويراعى التحميل من الصفر ويزداد تدريجياً وبانتظام بمعدل قدره 35 نيوتن/مم<sup>2</sup> فى الدقيقة.
- العينات:
- يتم اختبار ثلاثة مكعبات بأبعاد 70.7×70.7×70.7 ملليمتر عند كل عمر اختبار.
- خطوات الاختبار:
- تكون درجة الحرارة والرطوبة النسبية أثناء خلط وصب العينات كما هو موضح بجدول (8-2).

جدول (8-2) اشتراطات الحرارة والرطوبة النسبية والتفاوتات المسموح بها		
المكان	درجة الحرارة (منوية)	أقل رطوبة نسبية (%)
غرفة الخلط	2±20	65 %
غرفة المعالجة	2±20	90 %
ماء حوض المعالجة	2±20	—
حجرة ماكينة الضغط	2±20	50 %

- ملحوظة : قبل إجراء الاختبار يراعى أن تكون درجة حرارة المواد المستخدمة والقوالب هى نفس درجة حرارة غرفة الخلط , ويتم ذلك بحفظها داخل الغرفة لمدة كافية.
- يشترط فى الرمل القياسى المستعمل فى هذا الاختبار ما يلى:
- لا تقل نسبة السيليكات فيه عن 90% بالوزن.
- يكون مغسولاً ومجففاً جيداً , ولا يزيد محتوى الرطوبة به عن 0.1% بالوزن على الأساس الجاف.
- لا يزيد الفقد فى الوزن بعد معالجته بحمض الهيدروكلوريك الساخن على 0.25%.
- يمر جميعه من المنخل القياسى (مقاس فتحته 850 ميكرون), ولا يزيد المار منه من المنخل القياسى (مقاس فتحته 600 ميكرون) على 10% بالوزن.
- تحضير الأوزان اللازمة (الرمل والأسمنت والماء) لكل مكعب كما هو موضح بجدول (9-2).

جدول رقم (9-2) نسب الخلط للمكعب الواحد			
نوع الأسمنت	المواد	النسب بالوزن	الوزن (جرام)
كل أنواع الأسمنت ماعدا الأسمنت عالى الألومينا	أسمنت	1.0	1±185
	رمل	3.0	1±555
	ماء	0.4	1±74
الأسمنت عالى الألومينا	أسمنت	1.0	1±190
	رمل	3.0	1±570
	ماء	0.4	1±76

- يثبت القالب على ماكينة الهز ويركب الدليل فوق القالب.
- تملأ المونة الخاصة بكل مكعب على سطح غير مسامى ممسوح بقطعة قماش مبتلة , ويخلط الأسمنت والرمل وهما جافان لمدة دقيقة باستعمال عدد اثنين من المسطرين القياسى , ثم يضاف الماء ويتم خلط المكونات لمدة 4 دقائق باستخدام المسطرين.
- تنقل المونة فور خلطها وبسرعة إلى دليل القالب ويهز القالب لمدة دقيقتين على ماكينة الاهتزاز القياسية .



شكل (14-2) قنينة الكثافة

## 7-10-2 اختبار تحديد مقاومة الضغط للمونة الأسمنتية:

### Compressive Strength of Cement Mortars:

1. الهدف:
- يهدف هذا الاختبار إلى تعيين مقاومة الضغط لمونة الأسمنت باختبار مكعبات قياسية من مونة الأسمنت. ويتم خلطها يدوياً , وتدمك ميكانيكياً بماكينة اهتزاز قياسية. ويعتبر هذا الاختبار اختبار قبول أو رفض للأسمنت.
2. الأجهزة:
- ماكينة اهتزاز قياسية (سرعة الهز 400±12000 هزة فى الدقيقة).
- يكون قالب الاختبار قياسى بأبعاد 70.7 ملليمتر ومساحة كل سطح من أسطحه 500مم<sup>2</sup>.
- يصنع القالب من معدن لا يتأثر بمونة الأسمنت , ويكون متيناً بالدرجة التى تمنع التشوهات , ومصمماً بحيث يسمح بسهولة نزع العينة منه دون حدوث أى أضرار بها , وتجمع أجزاء القالب بوسيلة تجعله متماسكاً أثناء الملء والتداول.
- يزود كل قالب بقاعدة من لوح صلب لمنع تسرب المونة من القالب أو الماء . ويكون وزن القالب والقاعدة متوافقاً مع متطلبات ماكينة الاهتزازات.
- حوض المعالجة : يحتوى على ماء صالح للشرب , ويغير هذا الماء كل سبعة أيام على الأكثر أو حين الحاجة لذلك , وتكون درجة حرارة الماء به 2±20 درجة مئوية.



- يرفع القالب من ماكينة الاهتزاز ويوضع فى غرفة المعالجة فى جو رطوبته النسبية 90% على الأقل ودرجة حرارته  $20 \pm 2$  درجة مئوية لمدة  $24 \pm 0.5$  ساعة. ويراعى أثناء هذه المدة تغطية سطح القوالب بلوح معدنى مستوى غير مسامى مثل الحديد أو المطاط لمنع تبخر الماء.
- تفصل العينات من القوالب وتوضع فى حوض المعالجة الذى يحتوى على ماء الشرب النظيف لحين وقت اختبارها ، على أن يتم وضع علامة مميزة على كل مكعب لتمييزه عن الآخر.
- ملحوظة: العينات المطلوب اختبارها بعد 24 ساعة تفصل من قوالبها قبل 15 إلى 20 دقيقة من اختبارها ، وتغطى بقطعة قماش مبللة للحفاظ على رطوبتها ، وإذا كانت درجة تماسك المونة بعد 24 ساعة تؤدي إلى إنهيار المكعب ، تؤجل عملية فصل المكعبات من القوالب لمدة 24 ساعة أخرى ، ويسجل ذلك فى تقرير الاختبار .
- يحسب عمر اختبار العينات من وقت إضافة الماء للمواد ، وعادة ما تختبر بعد الأعمار التالية : يوم واحد ( $24 \pm 0.5$ ) ساعة ، ثلاثة أيام ( $72 \pm 1$ ) ساعة ، سبعة أيام ( $168 \pm 1$ ) ساعة ، 28 يوما ( $672 \pm 1$ ) ساعة.
- ترفع المكعبات من الماء عند حلول موعد اختبارها ، ويمسح الماء الزائد من أسطحها بواسطة قطعة قماش رطبة ، وتزال أى نتوءات سطحية بسيطة .
- توضع المكعبات على أحد جوانبها ، وهى لاتزال مشبعة بالماء على لوح جهاز قياس مقاومة الضغط ، ويراعى ألا يستخدم حشو بين المكعب واللوح. ثم يطبق الحمل ويزداد تدريجياً وبانتظام بمعدل قدره 35 نيوتن/مم<sup>2</sup> فى الدقيقة ، على أن يكون محورا العينة والحمل متطابقين تماماً.
- تسجل قيمة الحمل الذى يحدث عنده الكسر كما تسجل حالات الكسر غير العادى.
- 5. النتائج:
- تحسب مقاومة الأسمنت للضغط من متوسط مقاومة الضغط لثلاث عينات مختبرة على نفس العمر مع تقريب النتائج لأقرب 0.5 نيوتن/مم<sup>2</sup> كما يلى:  
مقاومة الضغط = متوسط حمل التهشيم لثلاثة مكعبات  
المساحة المعرضة للحمل
- إذا انحرفت نتيجة مقاومة ضغط أحد المكعبات الثلاثة عن المتوسط بمقدار  $\pm 5.0\%$  تحذف هذه القيمة ويعاد حساب متوسط النتائج الباقية.
- إذا زاد عدد المكعبات التى انحرفت نتائجها عن المتوسط بمقدار  $\pm 5.0\%$  عن مكعب واحد تحذف نتائج المجموعة كلها.
- 6. حدود القبول أو الرفض:
- تكون حدود القبول أو الرفض لمقاومة الضغط كما هو موضح بجدول (10-2):

جدول رقم (10-2) حدود المواصفات لمقاومة الضغط لمكعبات المونة الأسمنتية (نيوتن/مم<sup>2</sup>)

نوع الأسمنت	بعد 24 ساعة لا تقل عن	بعد 3 أيام لا تقل عن	بعد 7 أيام لا تقل عن	بعد 28 يوم لا تقل عن
أسمنت بورتلاندى عادى	—	18	27	36
أسمنت بورتلاندى سريع التصلد	—	24	31	40
أسمنت بورتلاندى مقاوم للكبريتات	—	18	27	36
أسمنت بورتلاندى منخفض الحرارة	—	7	13	27
أسمنت البورتلاندى الأبيض	—	18	27	36
أسمنت البورتلاندى المخلوط بالرمل	—	12	20	27
أسمنت بورتلاندى ذو النعومة 4100	10	25	32.5	40
أسمنت حديدى	—	13	21	34
أسمنت على الألومينا	25	—	—	—
80	30	—	—	—
70	50	—	—	—
50	50	—	—	—
40	—	—	—	—

المواصفات المصرية القديمة .

10-1 اختبار تحديد مقاومة الضغط للمونة الأسمنتية باستخدام جزء من منشور تم إظهاره الحثائياً:

### Compressive Strength of Cement Mortars Using Portions of Prisms Tested In Flexure:

يفضى هذا الاختبار تحديد مقاومة الضغط لمونة الأسمنت باستخدام أجزاء من منشور تم إظهاره تحت تأثير الانحناء. ويعتبر تعيين مقاومة الضغط باستخدام جزء من منشور لأغراض تجريبية وليست بديلة للمكعبات (طبقاً للمواصفات المصرية القديمة م.ق.م 1991/373). والمواصفة الأوروبية الحالية والمصرية الجديدة تستخدم تلك التجربة للتعبير عن مقاومة الضغط للحكم على رتبة الأسمنت .

1. الهدف:

يهدف الاختبار لتحديد مدى مقاومة المونة للضغط من خلال استخدام أجزاء من منشور تم اختبارها تحت تأثير الانحناء. ولا يستخدم هذا الاختبار للحكم على صلاحية الأسمنت.

2. الأجهزة:

- ألواح تحميل لا يقل سمكها عن 25 مم مصنوعة من حديد صلب بأبعاد (50.8×40.32) مم) ولها صلادة لا تقل عن 60 بمقياس روكويل.
- ماكينة اختبار الضغط: تكون مناسبة للاختبار بحيث يقع أقصى حمل متوقع للعينة بين 20-80% من تدرج القياس بالماكينة. ويراعى التحميل من الصفر ويزداد تدريجياً وبانتظام بمعدل قدره 35 نيوتن/مم<sup>2</sup> فى الدقيقة.

3. العينات:



لا بد أن تكون أجزاء العينات المختارة خالية وبعدة عن الشقوق أو أي عيوب ظاهرة أخرى ، ولا يقل طول العينات عن 64 مم.

#### 4. خطوات الاختبار:

- يتم صب منشور (40 × 40 × 160 مم) بعدد قياسي (3 منشور) بعد 24 ساعة يتم فك القوالب ومعالجة العينات قياسياً (غمر في الماء درجة حرارته  $23 \pm 2$  .
- تختبر المنشورات في الانحناء .
- تجفف العينات بقطعة قماش رطبة ثم تزال أي حبات رمال من أسطح العينة.
- يجب التأكد من استواء أسطح العينات.
- توضع العينة في ماكينة الاختبار كالآتي:
  - يتم وضع الجزء السفلي من أداة ضبط ألواح التحميل بحيث يتطابق محور الأداة مع محور ماكينة الضغط .
  - توضع العينة على اللوح السفلي للتحميل بحيث يكون البعد 50.8 مم لألواح التحميل متعامداً على المحور الطولي للمنشور. وعلى ذلك تكون المساحة المعرضة للتحميل 40×40 مم ، ثم يتم وضع اللوح العلوي باستخدام أداة ضبط الألواح.
  - يتم التحميل بمعدل منتظم وتدرجياً كما هو موضح باختبار مقاومة الضغط للمونة الأسمنتية .
  - يراعى ألا تزيد الفترة بين اختبار الانحناء واختبار الضغط عما يلي:

عمر الاختبار	الفترة الزمنية المسموح بها
1 يوم	10 دقائق
أعمار أخرى	30 دقيقة

#### 5. النتائج:

- يتم تسجيل أقصى حمل لكسر العينة ، ويتم حساب مقاومة الضغط للمكعب المكافئ كالآتي:

$$S_c = 0.062P$$

حيث

←  $S_c$ : مقاومة الضغط بالكيلو باسكال.

←  $P$ : حمل الكسر بالنيوتن.

- يتم حساب المقاومة لأقرب 50 كيلوباسكال.

وبالنسبة للمواصفه الحديثه فتكون مقاومة الضغط كمايلي:

الرتبه	مقاومة 2 يوم	مقاومة 7 يوم	مقاومة 28 يوم ن/مم2
N 32.5	—	$16 \leq$	$32.5 \leq$
R 32.5	$10 \leq$	—	$32.5 \leq$
N 42.5	$10 \leq$	—	$42.5 \leq$
R 42.5	$20 \leq$	—	$42.5 \leq$
R·N 52.5	$30 \leq$	—	$52.5 \leq$